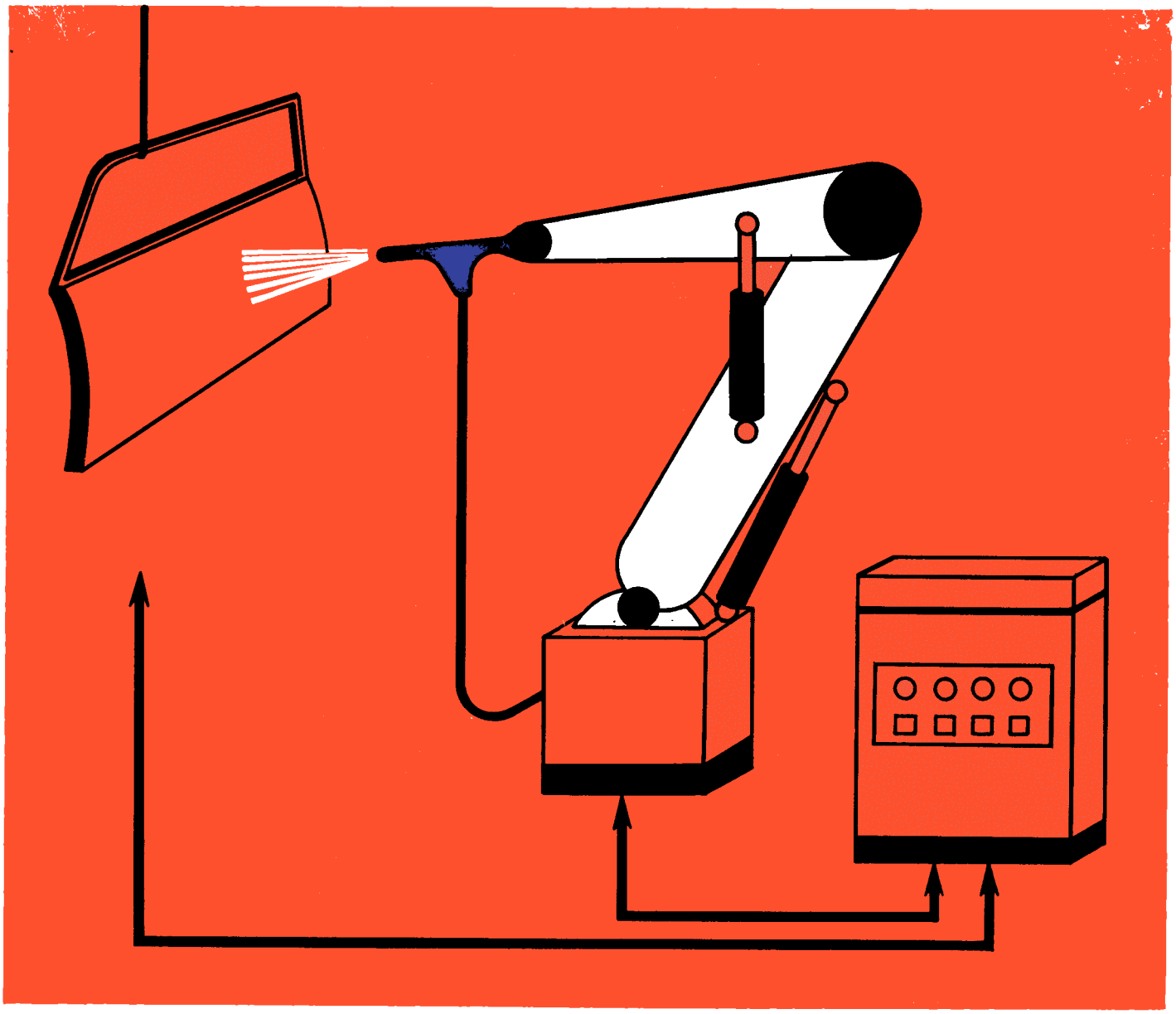
11 JJM

1982

msr

messen • steuern • regeln



25. Jahrgang
Heft 11
November 1982

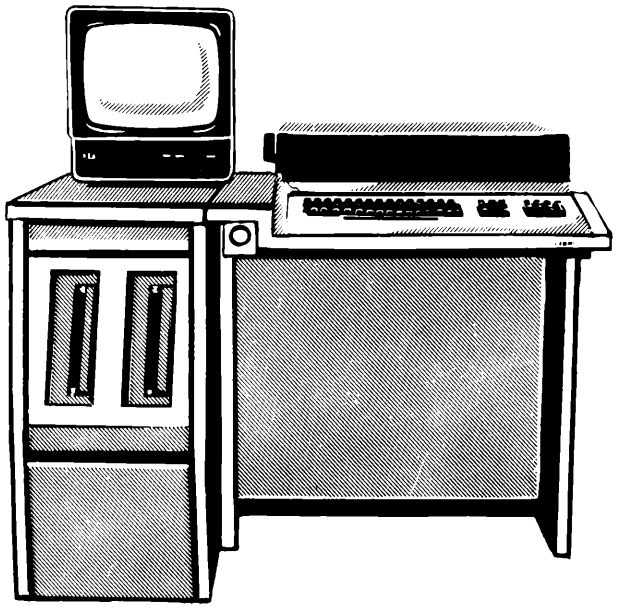
Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M

Index 32 525
ISSN 0026-0347

VEB
Verlag Technik
Berlin

Isotimpex

Textverarbeitungsautomat ISOT 1002 C



Einsatzgebiete

Der Textverarbeitungsautomat ISOT 1002 C dient der Automatisierung des Maschineschreibens und der Textbearbeitung in Schreibzimmern, Redaktionen und polygrafischen Kombinaten. Weitere Einsatzgebiete sind die Erarbeitung von Dokumentationen in Forschung und Entwicklung sowie die Rationalisierung der Büroarbeiten in großen Industrie- und landwirtschaftlichen Betrieben. Die Baugruppen des Textverarbeitungsautomaten sind zu einem selbständigen Arbeitsplatz zusammengefaßt.

Funktionen

- Eingabe eines Textes und seine Speicherung auf dem externen Speicher
- Automatische Formatierung des eingegebenen Textes
- Möglichkeit von Korrektur, Ergänzung, Streichung sowie Auslassung von Sätzen, Wörtern oder einzelnen Symbolen
- Zusammenstellung von Texten aus Bausteinen
- Wiederholschreiben

Technische Parameter

- Steuerkern auf der Basis eines 8-Bit-Mikroprozessors
- Arbeitsspeicher von 48 KByte
- Bildschirmanzeige von bis zu 1920 Zeichen
- Kyrillische und lateinische Standardtastatur
- Funktionstastatur für Berichtigungen und Textverarbeitung mit Klartext
- Folienspeicher EC 5074 als externer Speicher
- Alphanumerischer Drucker EC 7187
- Netzanschluß: 220 V; 50 Hz

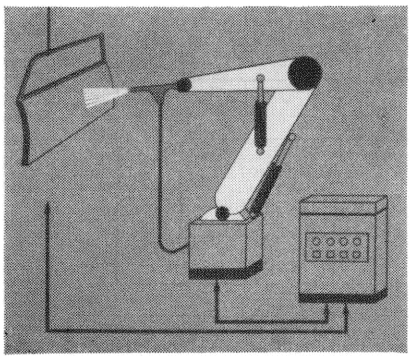
Export:

AHO »ISOTIMPEX«, Tschapaewstr. 51 · Sofia/VR Bulgarien

Ruf: 74-61-51 · FS 022731, 022732

msr
messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Industrieroboter sind technologische Automatisierungsmittel, mit deren Hilfe es möglich ist, sowohl einfache, monotone (darunter auch gesundheitsschädigende) Arbeitsgänge in gleichmäßiger, hoher Qualität bei hoher Produktivität ohne Inanspruchnahme menschlicher Arbeitskraft auszuführen als auch komplizierte Operationen zu realisieren, die vom Menschen allein nicht ausgeführt werden können.
Die Palette der Industrieroboter reicht von einfachen Handhabegeräten bis zu Ausführungen mit intelligenten Sensorsystemen zur komplexen Umwelterfassung. Die Robotersteuerung nach visuellen Erkennungsdaten, wie sie im Beitrag auf S. 615 beschrieben wird, stellt einen Schritt zur Realisierung der letztgenannten Robotertypen dar.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:

Obering. G. F. Berg, Dr. rer. nat. A. Borgwardt, Dr.-Ing. E. h. W. Britall, Prof. Dr.-sc.techn. W. Fritzsch, Doz. Dr.-Ing. H. Fuchs, Dr. rer. nat. H. Gena, Dipl.-Ing. H. Gottschalk, Dr.-Ing. K. Hilscher., Prof. Dr.-Ing. habil. D. Hofmann, Dipl. Ing. K. Keller, Prof. em. Dr. phil. nat. Dr.-Ing. E. h. H. Kidler, Dipl.-Phys. G. Meister, Dr.-Ing. J. Müller, Prof. Dr. sc. techn. R. Müller, Obering. K.-H. Nagel, Prof. Dr.-Ing. S. Pilz, Dr.-Ing. W. Reichel, Prof. Dr. sc. techn. K. Reinisch, Dr.-Ing. H. Schulze, Prof. Dr.-Ing. H. Töpfer, Prof. Dr. sc. oec. G. Viehweger

11
25. Jahrgang
November 1982

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE ISSN 0026-0347

602 *P. Otto, K. Sokollik, J. Wernstedt* und *M. Diezemann*
Innentemperatur-Vorhersagemodell zur Mikrorechnersteuerung von Gewächshäusern

608 *J. Lunze*
Notwendige Modellkenntnisse zum Entwurf robuster Mehrgrößenregler mit I-Charakter

613 *J. Krummsdorf*
Die IFAC-Klassifikation zur Erschließung automatisierungstechnischer Literatur für die Forschung — 25 Jahre Praxis

615 *M. Zecha*
Steuerung von Gelenkmanipulatoren nach visuellen Erkennungsdaten

618 *R. Engel*
Frequenzanaloge Systemkomponenten als Bestandteil moderner Automatisierungskonzepte auf Mikrorechnerbasis

621 *S. Hiekmann* und *R. Fülle*
Gestaltung eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz

624 *F. Wächter, M. Gulbins, G. Franke* und *G. Döring*
Konzipierung von industriellen Steuerungen mit PLA's

629 *K.-J. Richter*
Simulation von Entwicklungslinien ökonomischer Systeme

632 *J.-A. Müller*
Simulation des Gießbetriebs in einem Siemens-Martin-(SM-) Stahlwerk

637 **FORTSETZUNGSREIHE**

639 **INFORMATIONSARTIKEL**

641 **KURZBEITRAG**

643 **TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN**

648 **MESSEN UND AUSSTELLUNGEN**

649 **TECHNISCHE INFORMATION**

650 **DISSERTATION**

651 **BUCHBESPRECHUNGEN**

657 **VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN**

3.US. **NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR**

Dr.-Ing. *P. Otto*, Dipl.-Ing. *K. Sokollik*, Doz. Dr. sc. techn. *J. Wernstedt*, Ilmenau, und Dr.-Ing. *M. Diezemann*, Großbeeren[1])

Innentemperatur-Vorhersagemodell zur Mikrorechnersteuerung von Gewächshäusern

IA 5.1.

0. Einleitung

Die effektive Verwendung von Heizenergie bei den zu Großverbrauchern zählenden Gewächshausanlagen ist bei der gegenwärtigen Energiesituation zu einer vorrangigen Aufgabe geworden. Neben der Vorgabe von zeitvarianten Klimabedingungen (Sollwerten), die zu einem maximalen Ertrag führen, ist deshalb die Einstellung dieser Sollwerte unter Einbeziehung aller vorhandenen Steuerungsmöglichkeiten bei minimalem Energieeinsatz von äußerster Wichtigkeit. Diesem Ziel dient die Realisierung einer Steuerstrategie, die auf der Basis eines Innentemperatur-Vorhersagemodells, unter Berücksichtigung der relativ großen Trägheiten und Totzeiten der Gewächshausteilsysteme, so rechtzeitige Steuerentscheidungen erlaubt, daß eine wesentliche Einsparung an Heizenergie erzielt wird.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand deshalb die Entwicklung eines einfachen Gewächshausinnentemperaturmodells, das in Kombination mit einem Toleranzbandsteueralgorithmus auf Mikrorechnerbasis einsetzbar ist. Obwohl Gewächshäuser als zeitvariante Systeme anzusehen sind, wurde im Gegensatz zu der in [1] beschriebenen Vorgehensweise auf ein adaptives Steuerkonzept verzichtet, da durch die Vorhersage der Außenklimagrößen eine Hauptursache des zeitvarianten Verhaltens bereits erfaßt wird und die Nachführung des Gewächshausmodells außerdem ebenfalls möglich ist.

Der Modellentwurf erfolgte für ein Gewächshaus vom Typ G 300 (vierschiffiger Typenbau mit einer Anbaufläche von 3740 m²), dessen Heizungssysteme Stehwandheizung und 18 Heizlüfter (in Gruppen schaltbar) für Heizwasser mit einer Vorlauftemperatur bis 120 °C ausgelegt sind [2].

1. Systembeschreibung

Das Gewächshaus kann als ein klimatechnisches System mit einstellbaren und nichteinstellbaren Einflußgrößen (Eingangsgrößen) sowie dadurch beeinflußte, für die Ertragsbildung wesentliche Innenklimagrößen (Ausgangsgrößen) betrachtet werden. Im Mittelpunkt der weiteren Betrachtungen steht die Innentemperatur als die für den Treibhausgemüseertrag dominierende Innenklimagröße.

Als Einflußgrößen sollen nur die für die Innentemperatur wesentlichen Faktoren

- Anzahl der laufenden Heizlüfter
- Stellung des Ventils der Stehwandheizung
- Vorlauftemperatur des Heizmediums

} einstellbare Eingangsgrößen

- Außentemperatur
- Globalstrahlung

} nicht einstellbare Eingangsgrößen

betrachtet werden. Die Einbeziehung der Lüftungsklappen entfällt, da die Heizsysteme nur im geschlossenen Zustand betrieben werden. Alle anderen Außenklimagrößen werden als stochastische Störkomponenten angesehen. Die Vorhersage von Werten der Innentemperatur setzt die Kenntnis von Prognosewerten für die Außenklimagrößen voraus, die über ein entsprechendes Vorhersagemodell gewonnen werden müssen. Das Gewächshausinnentemperaturmodell setzt sich folglich entsprechend der im Bild 1 gezeigten Struktur aus zwei Teilmodellen zusammen.

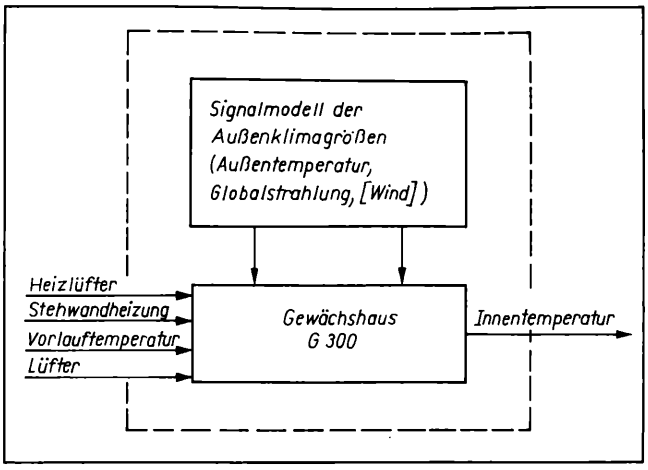


Bild 1. Grundstruktur eines komplexen Gewächshausinnentemperaturmodells

2. Signalmodelle für die Außenklimagrößen Temperatur und Globalstrahlung

Die Einflußgrößen Temperatur und Globalstrahlung unterliegen entsprechend der jahreszeitlichen und täglichen Änderung sogenannten Jahres- und Tagesgängen, die sich aus periodischen Anteilen zusammensetzen. Deshalb ist die Beschreibung der entsprechenden Signalverläufe durch Zeitreihen auf der Basis von Sinus- bzw. Kosinus-Funktionen möglich. Ergebnisse einer Regressionsanalyse haben gezeigt, daß die Approximation von Tagesgängen für die Außentemperatur (TA) und die Globalstrahlung (GS) bereits mit einfachen Zeitreihenmodellen entsprechend Gl. (1) und Gl. (2) möglich ist, was durch Bild 2 und Bild 3 bestätigt wird [3].

$$TA = 9{,}05 - 2{,}05 \cos \frac{2}{T} t + 0{,}05 \cos \frac{2}{T/4} t - \\ - 4{,}21 \sin \frac{2}{T} t + 1{,}85 \sin \frac{2}{T/2} t - 0{,}18 \sin \frac{2}{T/5} t , \tag{1}$$

$$GS = 0{,}06 - 0{,}09 \cos \frac{2}{T} t + 0{,}05 \cos \frac{2}{T/2} t - \\ - 0{,}013 \sin \frac{2}{T} t + 0{,}012 \sin \frac{2}{T/2} t - 0{,}005 \sin \frac{2}{T/4} t . \tag{2}$$

$T = 24$ h , $t =$ Zeit in h

[1]) Mitteilung aus der Technischen Hochschule Ilmenau, Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik, und dem Institut für Gemüseproduktion Großbeeren der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.

Die Autoren danken Herrn Dipl.-Ing. *A. Seifert* und Herrn Dipl.-Ing. *W. v. Mezynski* für ihre Zuarbeiten zur Modellschätzung und zur Erarbeitung der Signalmodelle.

Bild 2. Approximation des Tagesganges für die Außentemperatur

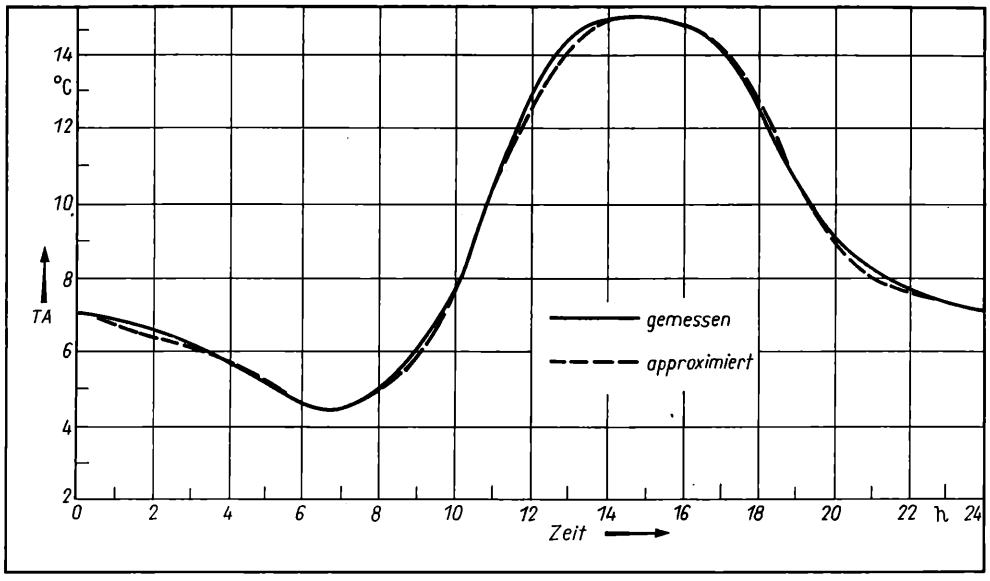
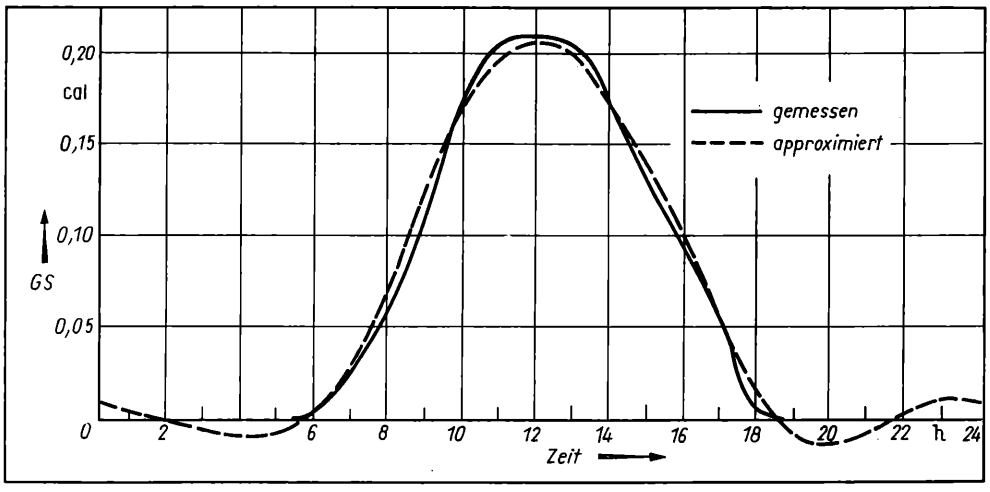


Bild 3. Approximation des Tagesganges für die Globalstrahlung



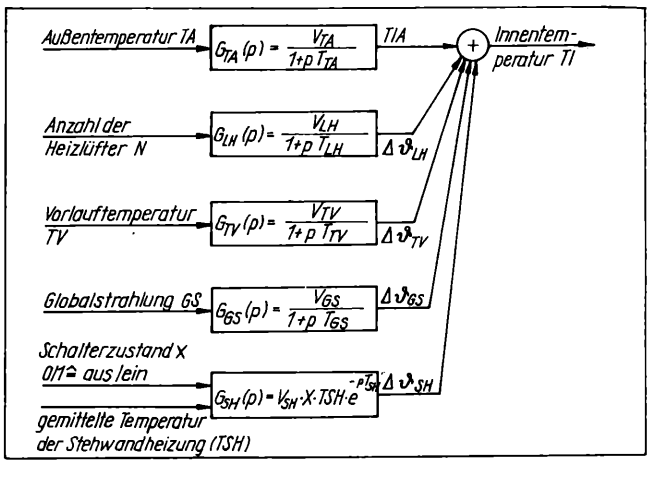
Die für die beabsichtigte Steuerstrategie notwendige Kurzfristvorhersage erfordert eine ständige Nachführung der Modelle. Dies kann dadurch realisiert werden, daß die im Ergebnis einer rekursiven Filterung der aktuell gemessenen Werte bzw. einer gewichteten rekursiven Regression erhaltenen polynomialen Zeitreihenansätze a priori festgelegten Standardverläufen zugeordnet werden, die den aktuellen Witterungsbedingungen entsprechen, und die Vorhersage auf dieser Basis vorgenommen wird.

3. Teilmodelle für die wesentlichen Einflußgrößen auf die Innentemperatur

Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, daß die Verwendung experimentell-statistischer Modelle insbesondere hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für Mikrorechner vorteilhaft gegenüber theoretischen Modellkonzeptionen ist [2].

Die Grundidee des experimentellen Gesamtmodells geht davon aus, daß die Außentemperatur als Bezugsgröße für die Innentemperatur angesehen wird und einen Grundbestandteil der Innentemperatur darstellt. Alle anderen Einflußgrößen rufen die Temperaturdifferenz hervor, die in der Summe für das Temperaturgefälle zwischen innen und außen verantwortlich ist. Im Ergebnis aufgenommener Abkühl- bzw. Aufheizkurven konnte festgestellt werden, daß der Einfluß der Heizungssysteme und der Außenklimagrößen in Form von Verzögerungsgliedern unter Einbeziehung von Totzeiten erfaßt werden kann. Somit kann die Grundstruktur des experimentellen Innentemperaturmodells wie im Bild 4 gezeigt dargestellt werden. Die Identifikation der Modellparameter für die Heizungssysteme erfolgte auf der Grundlage von im Gewächshaus durchgeführten aktiven Experimenten mit optimalen Testsignalfolgen [4]. Die Anzahl der Heizlüfter und das Eingangsventil der Stehwandheizung wurden nach Testsignalfolgen, die aus modifizierten Plackett-Burman-Plänen gewonnen wurden, verändert. Dies ermöglichte eine suboptimale Schätzung (im Sinne der D-Optimalität) der Stützstellen eines nichtlinearen Gewichtsfunktionsmodells (Hammerstein-Struktur mit einer Nichtlinearität 2. Ordnung). Der zeit-

Bild 4. Grundstruktur des experimentellen Innentemperaturmodells



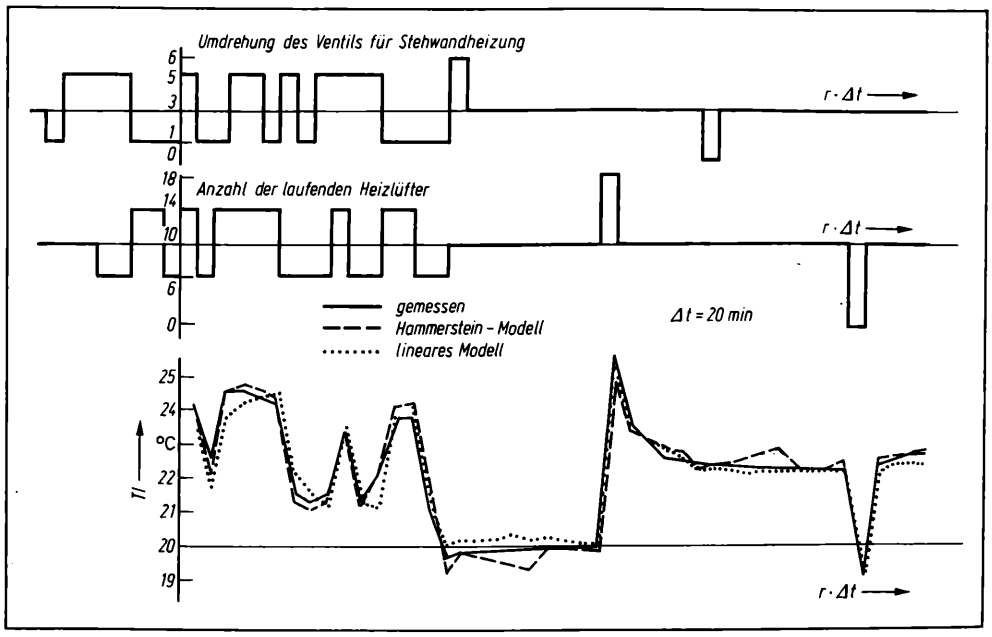


Bild 5. Innentemperaturverlauf bei Verwendung suboptimaler Testfolgen

Tafel 1. Geschätzte Parameter der einzelnen Teilmodelle

Teilsystem	V	T (in min)
LH	0,32	23,4
SH	0,03	120
TV	0,095	28
GS	0,05	13,5
TA	1	25

liche Verlauf der gemessenen und der mit dem Modell geschätzten Innentemperatur in Abhängigkeit von beiden Eingangsgrößen ist im Bild 5 dargestellt.
Die Auswertung zeigte folgende Ergebnisse:

1. Die große Totzeit und Trägheit der Stehwandheizung und die im Produktionsbetrieb seltenen Umsteuerungen machen die Berücksichtigung ihrer Dynamik überflüssig.
2. Der Zusammenhang zwischen der Anzahl der laufenden Heizlüfter und der Innentemperatur kann durch ein lineares Gewichtsfunktionsmodell mit genügender Genauigkeit beschrieben werden.
3. Für die einzelnen Verstärkungen und Zeitkonstanten wurden die in Tafel 1 angegebenen Werte ermittelt.

Analog erfolgte die Parameterschätzung für das Vorlauftemperaturmodell (Tafel 1). Die Teilmodelle für die Globalstrahlung und die Außentemperatur wurden auf der Grundlage von Driftmessungen bei abgeschalteten Heizsystemen berechnet (Tafel 1).

4. Experimentelles Gesamtmodell

Es muß eingeschätzt werden, daß die berechneten Parameter aufgrund der äußerst ungünstigen statistischen Eigenschaften der Daten für die Globalstrahlung und die Außentemperatur (starke Korrelation sowie geringe Änderungen im Beobachtungszeitraum und dadurch schlecht konditionierte Informationsmatrizen) sowie der nicht vollständig möglichen Eliminierung des Einflusses der Außentemperatur (keine konstanten Versuchsbedingungen) noch fehlerbehaftet sind. Dies wurde im Ergebnis der Durchführung eines aktiven Versuchsplanes über 48 Stunden, in dem alle im normalen Betrieb vorkommenden Stufen der einstellbaren Einflußgrößen Heizlüfter und Stehwandheizung sowie Vorlauftemperaturänderungen innerhalb eines prozeßnahen Aussteuerbereiches realisiert wurden, bestätigt.

Bild 6 zeigt eine vergleichende Darstellung des rückgerechneten und des gemessenen Verlaufes der Innentemperatur in Abhän-

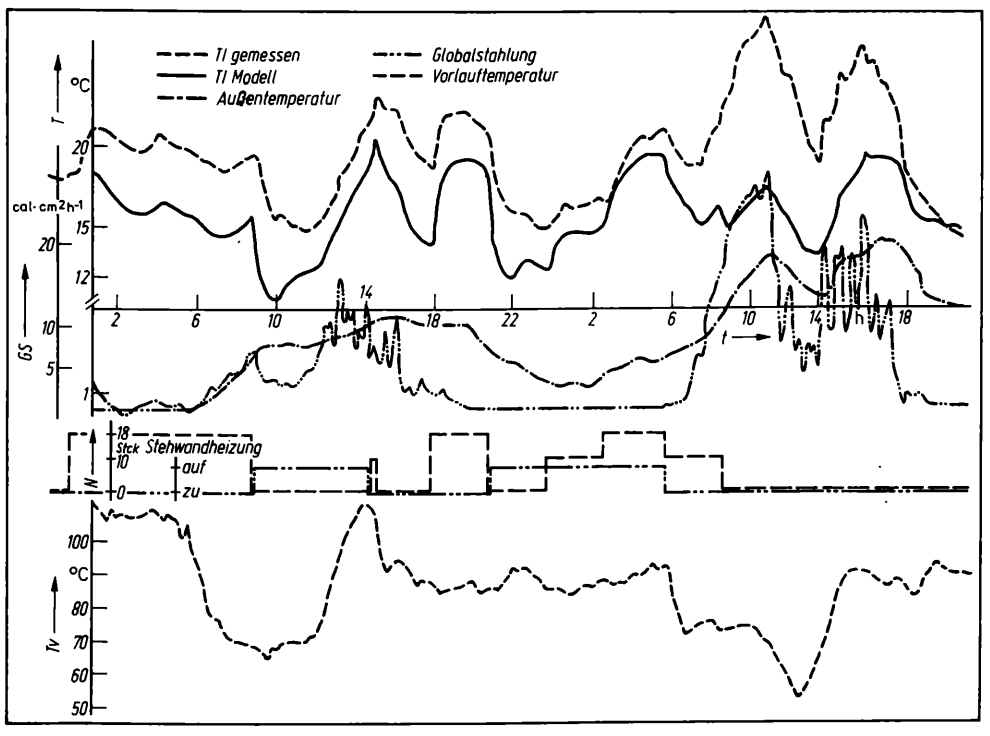


Bild 6. Durchführung und Auswertung eines Versuchsplanes zur Überprüfung und Präzisierung des Modells

gigkeit von den einzelnen Einflußgrößen. In Auswertung der Ergebnisse kann festgestellt werden:

1. Der tendenzielle Verlauf der geschätzten Innentemperatur zeigt eine relativ gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten, was als Bestätigung für die angenommene Modellstruktur angesehen werden kann.
2. Die relativ großen, aber fast konstanten Abweichungen deuten darauf hin, daß vor allem die für das statische Verhalten verantwortlichen Parameter (Verstärkungen) noch fehlerbehaftet sind.
3. Besonders starke Abweichungen werden außerdem während der Einwirkung der Globalstrahlung deutlich. Hier mußte der Verstärkungsfaktor grundlegend überprüft werden.
4. An den Umschaltstellen der Stehwandheizung treten Abweichungen auf, die deutlich machen, daß hier aufgrund der häufigen Umschaltungen auch die Dynamik der Stehwandheizung durch ein Übertragungsglied der Form

$$G_{SH}(p) = \frac{V\,e^{-pT_t}}{1 + p \cdot T_{SH}} \tag{3}$$

berücksichtigt werden muß.

Ziel der weiteren Untersuchungen war eine Präzisierung der Modellparameter anhand der zur Verfügung stehenden Daten mit Hilfe bekannter und neu entwickelter Identifikationsverfahren.

5. Parameterschätzung bei Verwendung der direkten Regression

Das einfachste Identifikationsverfahren zur Präzisierung der Modellparameter ist die direkte Regression. Der Ansatz für ein entsprechendes Differenzengleichungsmodell lautet:

$$\begin{aligned} x(k) = {} & \underbrace{\frac{b_1 q^{-1}}{1 + a_1 q^{-1}} u_1(k)}_{\text{Außentemperatur}} + \underbrace{\frac{b_2 q^{-1}}{1 + a_2 q^{-1}} u_2(k)}_{\text{Globalstrahlung}} + \\ & + \underbrace{\frac{b_3 q^{-1}}{1 + a_3 q^{-1}} u_3(k)}_{\text{Heizlüfter}} + \underbrace{\frac{b_4 q^{-1}}{1 + a_4 q^{-1}} u_4(k)}_{\text{Vorlauftemperatur}} + \\ & + \underbrace{\frac{b_5 q^{-7}}{1 + a_5 q^{-7}} u_5(k)}_{\text{Stehwandheizung}} + \underbrace{z(k)}_{\text{Störung}} . \end{aligned} \tag{4}$$

Nach den bekannten Umformungen ergibt sich der folgende Modellansatz:

$$\begin{aligned} x(k) = {} & \sum_{i=1}^{4} \left[\sum_{j=1}^{5} b'_{ij} u_i(k-j) \right] + \\ & + \sum_{j=1}^{5} b'_{5j} u_5(k-j-6) - \sum_{j=1}^{5} a'_j x(k-j) + n(k) . \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} b'_{11} &= b_1 \\ b'_{12} &= b_1(a_2 + a_3 + a_4 + a_5) \\ &\vdots \\ a'_1 &= a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 \\ &\vdots \\ a'_5 &= a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 \end{aligned}$$

$u_1(k-i)$	Außentemperatur	zum Zeitpunkt $k-i$
$u_2(k-i)$	Globalstrahlung	
$u_3(k-i)$	Anzahl der Heizlüfter	
$u_4(k-i)$	Vorlauftemperatur	
$u_5(k-i)$	Ventilstellung der Stehwandheizung	
$x(k-i)$	Innentemperatur	
$z(k)$	Störung; $n(k)$ – gefilterte Störung	

Obwohl mit den durch die Regression ermittelten Parametern eine sehr gute Nachbildung des gemessenen Innentemperaturverlaufes erreicht werden kann (Bild 7), ist dieses Modell für eine Vorhersage nicht geeignet.

Die Parameter erweisen sich zum Teil als systemtheoretisch unsinnig (z. B. falsche Vorzeichen für einige verkoppelte Parameter), was durch die starke Auto- und Kreuzkorrelation der Einflußgrößen und die damit verbundene schlechte Kondition der Informationsmatrix bedingt ist [2]. Ein wesentlicher Nachteil besteht außerdem darin, daß nur die verkoppelten Parameter geschätzt werden können und eine Beziehung zu den Verstärkungen und Zeitkonstanten der einzelnen Teilmodelle kaum herzustellen ist.

6. Parameterschätzung unter Einbeziehung von A-priori-Kenntnissen

Da aus den durchgeführten Voruntersuchungen bereits A-priori-Kenntnisse über die Größe der Modellparameter vorhanden waren, bot sich zur Auswertung des Versuchsplanes die Verwendung eines speziell für die Modellschätzung mit stark korrelierten Eingangssignalen entwickelten Algorithmus an, der das Optimierungsverfahren von *Rosenbrock* in Verbindung mit Penalty-Funktionen verwendet [5].

Da in diesem Fall die Zielfunktion in jedem Suchschritt neu berechnet wird, ergibt sich die Möglichkeit, die Parameter der Teilsysteme anstelle der verkoppelten Parameter in Gl. (5) einzusetzen und direkt zu schätzen.

Aus Gl. (5) wird dann:

$$\begin{aligned} x(k) = {} & u_1(k-1)\, b_1 + u_1(k-2)\, b_1(a_2 + a_3 + a_4 + a_5) + \\ & + \ldots - x(k-5)\,(a_1 a_2 a_3 a_4 a_5) . \end{aligned} \tag{6}$$

Es ist aber auch möglich, einen Ansatz mit den einzelnen Differenzengleichungen der Teilsysteme zu formulieren, wenn sinnvolle Anfangswerte für die Teilausgangsgrößen angegeben werden können.

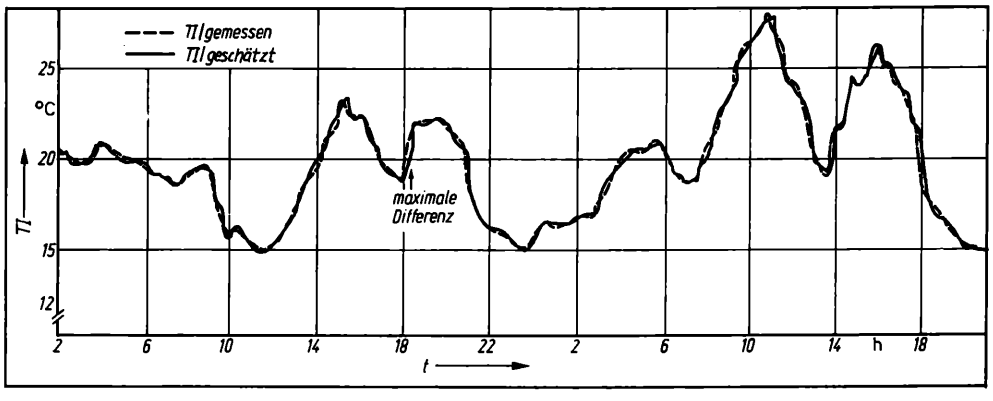


Bild 7. Darstellung des Innentemperaturverlaufes für die durch Regression ermittelten Parameter

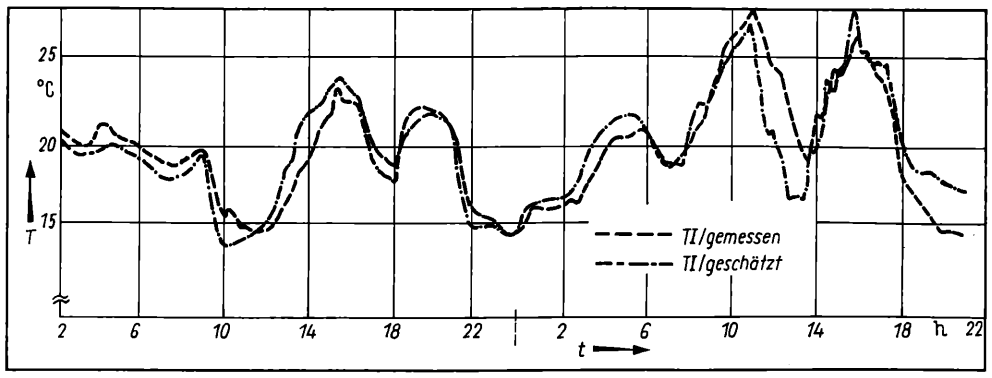
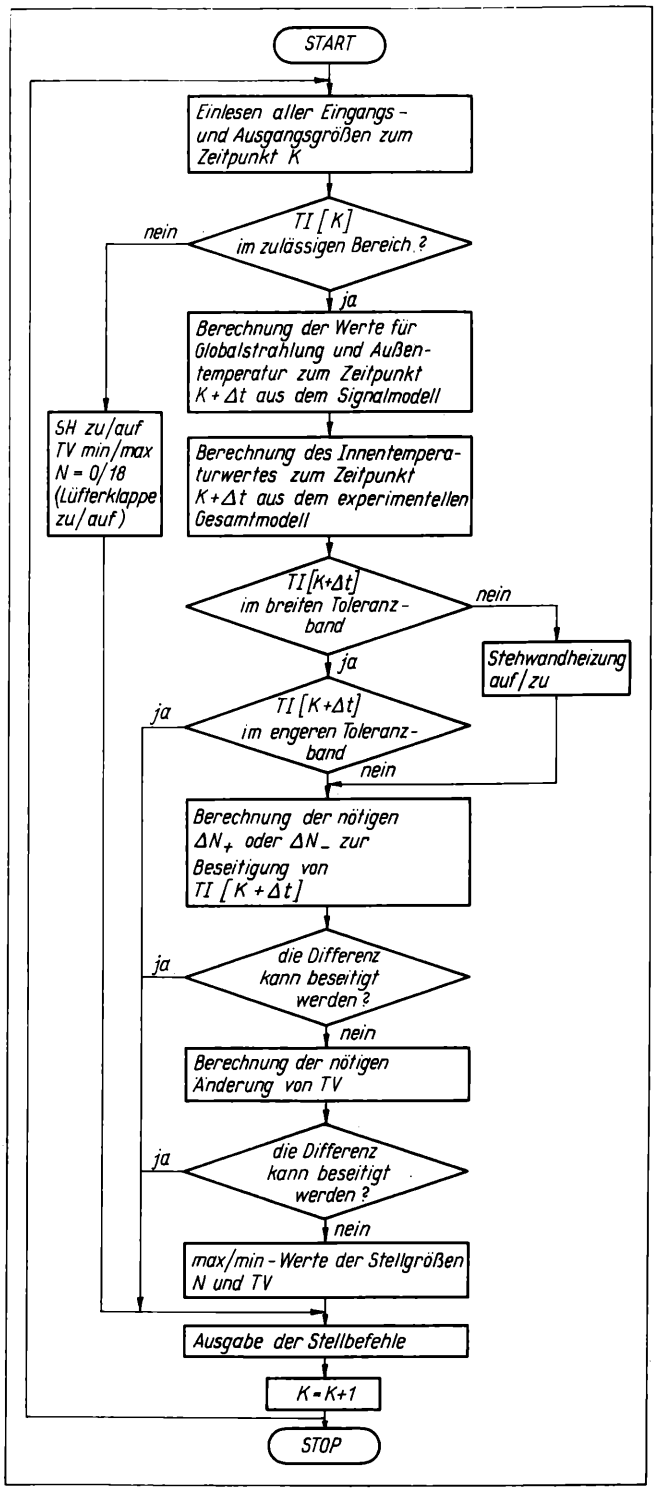


Bild 8. Darstellung des Innentemperaturverlaufes für die unter Einbeziehung von A-priori-Kenntnissen ermittelten Parameter

Bild 10. Programmablaufplan des Steueralgorithmus ▼



Tafel 2. Toleranzbänder und Parameterwerte des präzisier ten Modells

Toleranzband		neue Parameterwerte
V_{TA}	$0{,}9 < V_{TA} < 1$	0,95
V_{GS}	$0{,}1 < V_{GS} < 0{,}75$	0,109
V_{LH}	$0{,}25 < V_{LH} < 0{,}35$	0,262
V_{TV}	$0{,}08 < V_{TV} < 0{,}15$	0,0966
V_{SH}	$0{,}01 < V_{SH} < 0{,}1$	0,032
T_{TA}	$20 < T_{TA} < 35$	20,4 min
T_{GS}	$10 < T_{GS} < 70$	10,5 min
T_{LH}	$27 < T_{LH} < 30$	29,3 min
T_{TV}	$40 < T_{SH} < 95$	44,5 min

Für ein 2/1-System könnte der Ansatz z. B. lauten:

$$\left.\begin{aligned} x_1(k-1) &= x_2(k-1) = 0\,, \\ x_1(k) &= a_{11}x_1(k-1) + b_{11}u_1(k-1)\,, \\ x_2(k) &= a_{21}x_2(k-1) + b_{21}u_2(k-2)\,, \\ x(k) &= x_1(k) + x_2(k)\,. \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

Im Gegensatz zu Gl. (4) verringert sich bei diesen Varianten die Anzahl der zu schätzenden Parameter um etwa 2/3. Aus theoretischen Überlegungen wurden hierzu sinnvolle Beschränkungen für den möglichen Wertebereich der zu schätzenden Parameter abgeleitet und in Form von Ungleichungen fixiert.

Die verwendeten Toleranzbänder und die verbesserten Parameter sind in Tafel 2 dargestellt. Die Ergebnisse der Auswertung sind Bild 8 zu entnehmen.

Da das experimentelle Modell keine bestimmten Voraussetzungen an Art der Beheizung, verwendete Bedeckung oder ähnliches stellt, sondern nur die Zusammenhänge der Eingangsgrößen zur Innentemperatur berücksichtigt, ist die beschriebene Vorgehensweise auch auf jedes andere Gewächshaus anwendbar. Zur Gewinnung der für den Parametersuchalgorithmus benötigten Daten ist die Verwendung optimaler Testsignalfolgen für die einstellbaren Eingangsgrößen zu empfehlen.

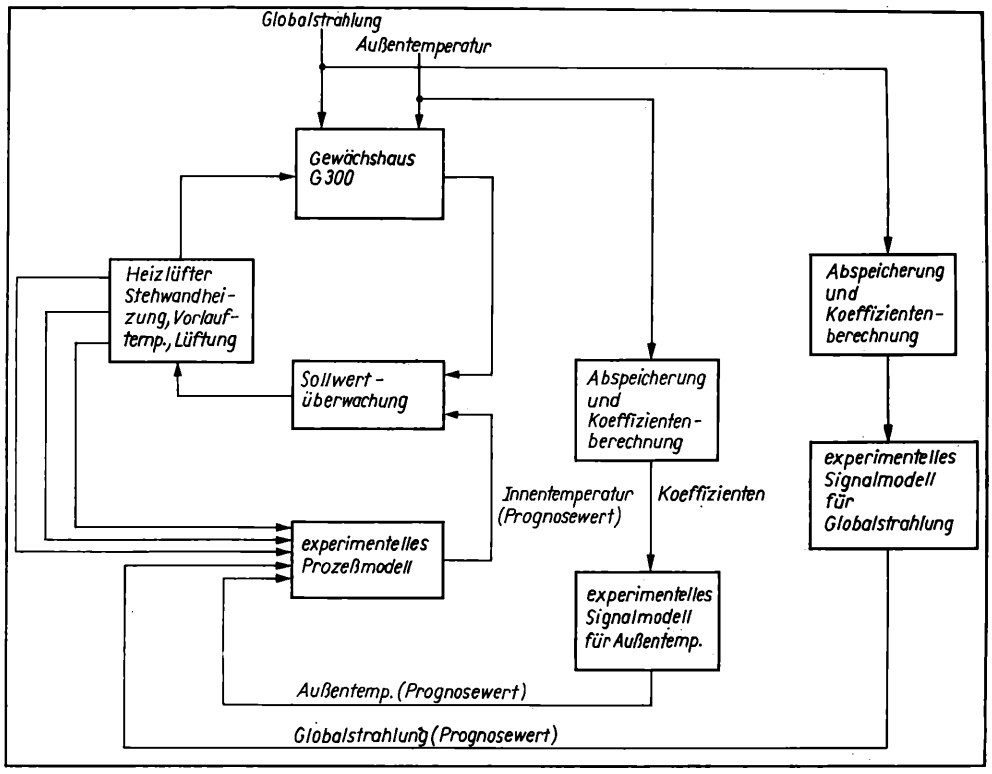
7. Einfache Toleranzbandsteuerung für die Innentemperatur

Folgende Überlegungen bzw. Eigenschaften des untersuchten Prozesses sind für den Entwurf einer geeigneten Steuerung der Innentemperatur wesentlich:

1. Die Zeitkonstanten des Prozesses sind relativ groß (10 bis 57 min), was eine schnelle Reaktion auf Sollwertverletzungen schwierig macht.
2. Die Stellmöglichkeiten der Heizungssysteme sind sehr begrenzt.
3. Im Gewächshaus besteht ein vertikales und horizontales Temperaturgefälle.
4. Der geringe Einfluß der Stehwandheizung macht sie bei schnellen Änderungen der Innentemperatur für kurze Steuereingriffe unbrauchbar.

Es wird deshalb vorgeschlagen, aufgrund berechneter Prognosewerte der Innentemperatur über eine Modellrückrechnung

Bild 9. Grobschema des Steueralgorithmus



den Stellbefehl zu ermitteln, der zur Beseitigung der zu erwartenden Sollwertverletzung geeignet ist. Über die bereits beschriebenen Signalmodelle können die zukünftigen Außenklimagrößen ermittelt werden. Damit wird über das Gesamtmodell bei konstant gehaltenen Stellgrößen der Prognosewert für die Innentemperatur errechnet. Nach einer Toleranzbandkontrolle werden durch eine Rückrechnung Art und Beitrag der Stellgrößen bestimmt. Zusätzlich wird der Momentanwert der Zielgröße innerhalb eines Toleranzbandes gehalten. Die Bandbreiten müssen durch pflanzenphysiologische Gesichtspunkte festgelegt werden. Der Sollwert der Innentemperatur kann fest oder lichtabhängig geführt sein.

Bild 9 zeigt ein grobes Schema der Steuerungskonzeption. Wird eine Sollwertverletzung im Prognosezeitraum festgestellt, so errechnet der Algorithmus zunächst die zur Beseitigung der Abweichung zu- oder abzuschaltenden Heizlüfter. Erweist sich die maximal mögliche Reaktion dieser Stellgröße als unzureichend, wird zusätzlich die nötige Herab- oder Heraufsetzung der Vorlauftemperatur bestimmt. Die Stehwandheizung wird nur in den jeweils anderen Zustand gefahren, wenn ein zweites, breiteres Toleranzband überschritten (unterschritten) wird. Befindet sich der Momentanwert der Innentemperatur im pflanzenschädlichen Bereich, werden alle Stellglieder auf das entsprechende Maximum (Minimum) geschaltet. Bild 10 zeigt den Programmablaufplan des Algorithmus.

Die Überprüfung von Modell und Steueralgorithmus erfolgte an einem simulierten Beispiel auf einer Rechenanlage EC 1040. Dabei wurde die Breite des ersten Toleranzbandes $\pm 1{,}8$ K und die des zweiten $\pm 3{,}0$ K gewählt. Die Berechnung der Prognosewerte für die Innentemperatur erfolgte bei Verwendung gemessener Außenklimawerte über das experimentelle Gesamtmodell. Im Bild 11 sind der Innentemperaturverlauf und die getroffenen Steuerentscheidungen für die einzelnen Heizsysteme für einen Simulationszeitraum von etwa 36 h dargestellt.

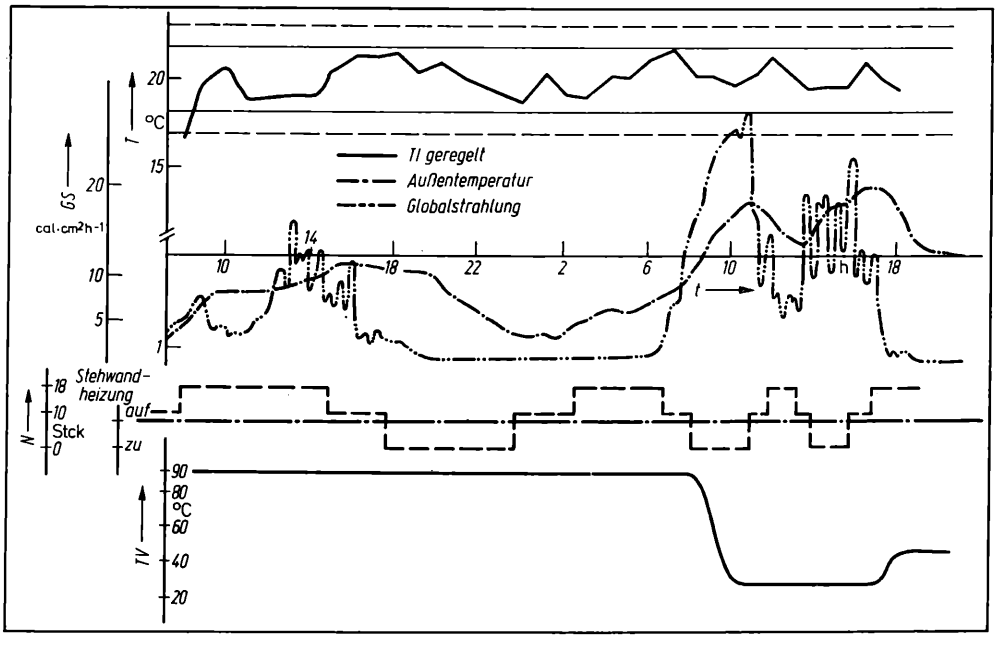


Bild 11. Überprüfung des Modells mit Hilfe des Toleranzbandsteueralgorithmus

Zusammenfassung

Es wurde ein experimentelles Prozeßmodell für die Vorhersage der Innentemperatur im Gewächshaus ermittelt. Auf der Grundlage dieses Modells können unter Berücksichtigung der relativ großen Trägheiten und Totzeiten der Gewächshausteilsysteme so rechtzeitig Steuerentscheidungen für die Heizungssysteme getroffen werden, daß eine Energieeinsparung erzielt wird.
Die durchgeführten Überprüfungen des Gesamtmodells haben die Richtigkeit der angenommenen Struktur bestätigt und gezeigt, daß mit den für das jeweilige Gewächshaus präzisierten Modellparametern eine gute Übereinstimmung zwischen System- und Modellverhalten erzielt werden kann. Die Eignung des Modells zur Steuerung der Innentemperatur konnte am simulierten Beispiel einer einfachen Toleranzbandsteuerung nachgewiesen werden. Weiterführende Untersuchungen zur Realisierung der Steuerung auf Mikrorechnerbasis werden in Zusammenarbeit zwischen der Technischen Hochschule Ilmenau, Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik, und dem IfG Großbeeren der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR durchgeführt, wobei erste Ergebnisse bereits vorliegen [6].

Literatur

[1] *Udink ten Cate, A. J.; van de Vooren, J.:* Adaptive Systems in Greenhouse Climate Control. VIII. IFAC-Kongreß. Kyoto 1981. Late Papers, 72.1, pp. 9–15.
[2] *Otto, P.; Sokollik, K.; Seifert, A.; Wernstedt, J.; Diezemann, M.:* Entwicklung eines Innentemperaturmodells für den Einsatz in Gewächshäusern zur Anwendung von Mikrorechnern. Forschungsbericht, TH Ilmenau, unveröffentlicht (1981).
[3] *Otto, P.; Wernstedt, J.:* Entwurf und Anwendung von Testsignalfolgen zur Identifikation nichtlinearer dynamischer Systeme. msr **21** (1978) H. 12, S. 683–687.
[4] *Wernstedt, J.; v. Mezynski, W.:* Entwicklung von Signalmodellen – Methoden und Anwendungen. 24. IWK der TH Ilmenau (1979) H. 1, S. 183–186.
[5] *Seifert, A.:* Parameterschätzung dynamischer Systeme bei stark korrelierten Eingangsgrößen und Beschränkungen für das Modell. Dissertation, TH Ilmenau 1981.
[6] *Mahlendorf, R.; Engmann, U.:* Pulsbreitenmodulierte Innentemperaturregelung mit Signalvorhersage auf K 1510. Forschungsbericht, TH Ilmenau, unveröffentlicht (1981).

msr 7611

Dr.-Ing. *J. Lunze*, Dresden[1])

Notwendige Modellkenntnisse zum Entwurf robuster Mehrgrößenregler mit I-Charakter

IA 2.3.1.0.

0. Einleitung

Obwohl eine große Zahl höherer Regelalgorithmen entwickelt wurde, stellt der konventionelle PID-Regler für viele Aufgaben der Prozeßregelung eine befriedigende Lösung dar. Er hat sich als ein einfaches, aber wirkungsvolles Hilfsmittel erwiesen, um die grundlegenden Zielstellungen der Regelung, wie Störausgleich und Sollwertfolge, zu erfüllen. Das trifft auf Ein- und Mehrgrößenregelungen gleichermaßen zu.
Ein wichtiger Grund für die weite Verbreitung des PID-Reglers liegt in der Einfachheit seines Reglergesetzes. PID-Eingrößenregler können bereits mit konventionellen Automatisierungsgeräten ohne großen Aufwand realisiert werden. Eine wesentlich breitere Anwendung der PID-Regelung für Mehrgrößensysteme wird durch die Entwicklung von Mehrkanal-Mikroprozessor-Reglern (ursamar 5000) ermöglicht. Mit dieser Gerätetechnik können PID-Algorithmen unmittelbar an der Anlage realisiert werden, ohne auf einen zentralen Prozeßrechner angewiesen zu sein [4] und [10].
Ein weiterer Grund für die vielfältige Anwendung des PID-Reglers, insbesondere in der Prozeßregelung, ist seine Robustheit gegenüber Veränderungen im Verhalten der Regelstrecke. Solange trotz dieser Änderungen die Stabilität des geregelten Systems gesichert ist, werden sprungförmige Störungen bzw. Sollwertänderungen vollständig ausgeregelt [1].
Diese, für die Mehrgrößenregelung bisher nur qualitativ untersuchte Robustheit deutet die Möglichkeit an, daß ein befriedigender PID-Regler auch ohne die exakte Kenntnis der Regelstrecke, z. B. aufgrund vereinfachter Modelle, entworfen werden kann. Es muß dann allerdings gesichert sein, daß die Robustheit des Reglers groß genug ist, um den tatsächlich auftretenden Modellfehler zu tolerieren. Der Regler darf also nicht nur am Modell, sondern er muß auch an der realen Strecke zu einem befriedigenden Verhalten führen.

[1]) Mitteilung aus dem Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Bereich Regelungssysteme, Dresden.

Die Ausnutzung der Robustheitseigenschaften des Reglers bei seinem Entwurf erfordert deshalb eine *quantitative* Beschreibung derjenigen Modellfehler, die von dem entworfenen Regler toleriert werden. Diesem Problem ist der Beitrag gewidmet. Da die Forderungen nach asymptotischem Störausgleich und asymptotischer Sollwertfolge bereits mit einem reinen I-Regler erfüllt werden können und P- und D-Anteile des Reglers lediglich der Verbesserung der Dynamik des geregelten Systems dienen, beschäftigen sich die folgenden Untersuchungen mit dem Entwurf von I-Reglern. Mit Hilfe einer notwendigen Stabilitätsbedingung für das geregelte Mehrgrößensystem wird untersucht, wie genau das statische Verhalten der Regelstrecke bekannt sein muß, um eine stabile I-Regelung berechnen zu können. Diese Informationen über die Statik und eine sehr grobe Abschätzung des Übergangsverhaltens der Regelstrecke sind ausreichend, um mit dem hier angegebenen Verfahren einen robusten I-Regler zu entwerfen. Die Ergebnisse zeigen, daß zum Aufbau störgrößenausregelnder I-Regelungen nur eine sehr grobe Prozeßkenntnis erforderlich ist.

1. Problemstellung

Es wird davon ausgegangen, daß die Regelstrecke stabil ist und durch ein lineares Zustandsraummodell

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}}(t) &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t) + \boldsymbol{E}\boldsymbol{s}(t)\,, \\ \boldsymbol{y}(t) &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{D}\boldsymbol{u}(t) + \boldsymbol{F}\boldsymbol{s}(t) \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

beschrieben werden kann. Dabei stellen $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{u}$, $\boldsymbol{s}$ und $\boldsymbol{y}$ die Vektoren der Zustands-, Eingangs-, Stör- bzw. Ausgangsgrößen mit den Dimensionen n, m, p und r dar. Die Matrizen $\boldsymbol{A}$ ... $\boldsymbol{F}$ haben konstante Elemente. Durch diesen Ansatz soll nur die Klasse der hier betrachteten Systeme fixiert werden. Für die Lösung der gestellten Probleme ist die genaue Kenntnis des Modelles (1) nicht erforderlich. Die Ergebnisse des Abschnittes 4. werden zeigen, daß anstelle der Parameter in Gl. (1) lediglich Abschätzungen für das statische Verhalten und die Übergangsfunktionen verfügbar sein müssen.

Es soll ein Regler entworfen werden, der folgende Forderungen erfüllt:

(I) Das geregelte System ist asymptotisch stabil.

(II) Für beliebige sprungförmige Störungen $\boldsymbol{s}(t)$ und Führungsgrößen $\boldsymbol{w}(t)$

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{s}(t) &= \bar{\boldsymbol{s}}\sigma(t)\\ \boldsymbol{w}(t) &= \bar{\boldsymbol{w}}\sigma(t)\end{aligned}\right\} \tag{2}$$

soll der Regelfehler $\boldsymbol{e}(t) = \boldsymbol{y}(t) - \boldsymbol{w}(t)$ asymptotisch verschwinden

$$\boldsymbol{y}(t) \underset{t\to\infty}{\to} \bar{\boldsymbol{w}}\,. \tag{3}$$

Entsprechend dem Inneren-Modell-Prinzip muß der zu entwerfende Regler r Integratoren enthalten [1]. Der Regler hat deshalb die Form

$$\left.\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{z}}(t) &= \boldsymbol{y}(t) - \boldsymbol{w}(t)\,,\\ \boldsymbol{u}(t) &= \boldsymbol{K}\boldsymbol{z}(t)\,,\end{aligned}\right\} \tag{4}$$

wobei die (m, r)-Matrix $\boldsymbol{K}$ die zu berechnenden Reglerparameter enthält. Das geregelte System nach den Gln. (1) und (4) kann durch

$$\left.\begin{aligned}\dot{\bar{\boldsymbol{x}}} &= \begin{pmatrix}\boldsymbol{A} & \boldsymbol{BK}\\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{DK}\end{pmatrix}\bar{\boldsymbol{x}} + \begin{pmatrix}\boldsymbol{0}\\ -\boldsymbol{I}\end{pmatrix}\boldsymbol{w} + \begin{pmatrix}\boldsymbol{E}\\ \boldsymbol{F}\end{pmatrix}\boldsymbol{s}\\ \boldsymbol{y} &= (\boldsymbol{C}\ \boldsymbol{DK})\,\bar{\boldsymbol{x}} + \boldsymbol{Fs}\end{aligned}\right\} \tag{5}$$

mit $\dot{\bar{\boldsymbol{x}}} = (\boldsymbol{x}'\ \dot{\boldsymbol{z}}')'$ beschrieben werden. Wird die Reglermatrix $\boldsymbol{K}$ so gewählt, daß das geregelte System (5) stabil ist, so ist gleichzeitig gesichert, daß bei sprungförmiger Erregung nach Gl. (2) die bleibende Regelabweichung verschwindet. Diese Tatsache läßt sich zeigen, indem man den statischen Endwert $\lim_{t\to\infty} \boldsymbol{y}(t)$ berechnet. Die Regelungsaufgabe (I), (III) ist folglich genau dann erfüllt, wenn ein I-Regler nach Gl. (4) verwendet wird und durch die Wahl der Reglerparameter $\boldsymbol{K}$ die Stabilität des geregelten Systems gesichert ist.

Der Beitrag beschäftigt sich nun mit den Fragen:

- Welche Informationen über die Regelstrecke sind notwendig, um eine stabile I-Rückführung berechnen zu können?
- Mit welchen, aus diesen Informationen berechenbaren Matrizen $\boldsymbol{K}$ ist das geregelte System asymptotisch stabil?

Die Untersuchungen verfolgen also das Ziel, die für die Lösung der Entwurfsaufgabe tatsächlich notwendigen Informationen über die Regelstrecke zu bestimmen und ein Verfahren anzugeben, mit dem unter Verwendung allein dieser Informationen ein stabiler I-Regler gefunden werden kann.

Die beim Reglerentwurf verwendeten Informationen sollen unvollständig sein, d. h., daß sie nicht ausreichen, um ein quantitativ exaktes Modell der Strecke, z. B. ein Modell der Form Gl. (1), aufzustellen. Statt dessen soll nur ein Näherungsmodell $\hat{\boldsymbol{M}}$ verwendet werden, das innerhalb einer Fehlerschranke $\boldsymbol{F}$ das Systemverhalten beschreibt. $\hat{\boldsymbol{M}}$ und $\boldsymbol{F}$ erlauben es dann, für jede Eingangsgröße $\boldsymbol{u}(t)$ bei $\boldsymbol{s}(t) \equiv \boldsymbol{0}$ eine Näherung $\hat{\boldsymbol{y}}(t)$ für die Ausgangsgröße $\boldsymbol{y}(t)$ und eine Abschätzung für den Fehler $\boldsymbol{f}(t) = \boldsymbol{y}(t) - \hat{\boldsymbol{y}}(t)$ zu berechnen (Bild).

Für die Beantwortung der beiden gestellten Fragen muß entschieden werden, welche Eigenschaften der Strecke durch das Modell $\hat{\boldsymbol{M}}$ wiedergegeben werden müssen und wie groß der Modellfehler $\boldsymbol{F}$ sein darf. Der mit $\hat{\boldsymbol{M}}$ und $\boldsymbol{F}$ berechnete Regler muß dann so robust sein, daß er mit *allen* durch $\hat{\boldsymbol{M}}$ innerhalb der Fehlerschranke $\boldsymbol{F}$ beschreibbaren Systemen einen stabilen geschlossenen Kreis bildet.

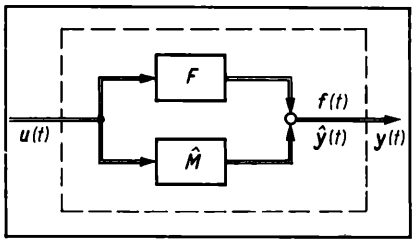


Bild Beschreibung der Regelstrecke durch ein Näherungsmodell $\hat{\boldsymbol{M}}$ und eine Fehlerabschätzung $\boldsymbol{F}$

2. Notwendige Stabilitätsbedingungen für das I-geregelte System

Mit der Hilfe der vollständigen Beschreibung Gl. (5) sollen in diesem Abschnitt notwendige Bedingungen für die Stabilität des geregelten Systems aufgestellt werden. Sie bilden die Grundlage, auf der die für den Reglerentwurf unbedingt benötigten Informationen über das Verhalten der Regelstrecke bestimmt werden können.

Die Reglermatrix $\boldsymbol{K}$ muß so gewählt werden, daß alle Eigenwerte der Systemmatrix $\bar{\boldsymbol{A}}$

$$\bar{\boldsymbol{A}} = \begin{pmatrix}\boldsymbol{A} & \boldsymbol{BK}\\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{DK}\end{pmatrix} \tag{6}$$

des geschlossenen Kreises (5) negative Realteile besitzen. Das ist genau dann erfüllt, wenn das charakteristische Polynom

$$p(\lambda) = \det\begin{pmatrix}\boldsymbol{A} - \lambda\boldsymbol{I} & \boldsymbol{BK}\\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{DK} - \lambda\boldsymbol{I}\end{pmatrix} \tag{7}$$

für keine komplexe Zahl

$$\lambda \in \boldsymbol{C}^+ \quad \text{mit} \quad \boldsymbol{C}^+ = \{\lambda = \delta + jw : \delta \geqq 0\} \tag{8}$$

verschwindet. Da die Strecke nach Voraussetzung stabil ist, existiert die Inverse $(\boldsymbol{A} - \lambda\boldsymbol{I})^{-1}$ für alle $\lambda \in \boldsymbol{C}^+$, und $p(\lambda)$ kann für diese Werte von λ entsprechend der Beziehung (siehe [3])

$$\det\begin{pmatrix}\boldsymbol{R} & \boldsymbol{S}\\ \boldsymbol{T} & \boldsymbol{U}\end{pmatrix} = \det\boldsymbol{R}\cdot\det(\boldsymbol{U} - \boldsymbol{TR}^{-1}\boldsymbol{S})$$

in

$$p(\lambda) = \det(\boldsymbol{A} - \lambda\boldsymbol{I})\det\left(-\boldsymbol{C}(\boldsymbol{A} - \lambda\boldsymbol{I})^{-1}\boldsymbol{BK} + \boldsymbol{DK} - \lambda\boldsymbol{I}\right) \tag{9}$$

umgeformt werden. Als notwendige Bedingung für die Stabilität des geregelten Systems erhält man daraus, daß die zweite Determinante in Gl. (9) für alle nichtnegativen reellen Werte von $\lambda(\lambda = \delta + j0, \delta \geqq 0)$ verschieden von Null ist

$$\tilde{p}(\delta) = \det\left(-\boldsymbol{C}(\boldsymbol{A} - \delta\boldsymbol{I})^{-1}\boldsymbol{BK} + \boldsymbol{DK} - \delta\boldsymbol{I}\right) \neq 0$$
$$\text{für alle} \quad \delta \geqq 0\,. \tag{10}$$

Die Determinante $\tilde{p}(\delta)$ ist eine stetige reellwertige Funktion ihres reellwertigen Argumentes. Für große δ ist die Inverse $(\boldsymbol{A} - \delta\boldsymbol{I})^{-1}$ sehr klein, und der Wert von $\tilde{p}(\delta)$ wird maßgeblich durch den letzten Summanden $-\delta\boldsymbol{I}$ bestimmt. Deshalb gibt es ein $\bar{\delta} > 0$, so daß

$$\tilde{p}(\delta)\cdot(-1)^r > 0 \quad \text{für} \quad \delta > \bar{\delta} \tag{11}$$

ist.

Wegen der Stetigkeit von $\tilde{p}(\delta)$ muß $p(\delta)$ für alle $\delta \geqq 0$ das gleiche Vorzeichen haben, wenn Gl. (10) erfüllt werden soll. Daraus erhält man als notwendige Bedingung für das geregelte System

$$\tilde{p}(0)\cdot(-1)^r = \det(-\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{K}) > 0 \tag{12}$$

mit

$$\boldsymbol{K}_s = \boldsymbol{D} - \boldsymbol{CA}^{-1}\boldsymbol{B}\,. \tag{13}$$

Satz 1:

Für die Stabilität des geregelten Systems ist notwendig, daß die Reglermatrix $\boldsymbol{K}$ die Bedingung (12) erfüllt, wobei $\boldsymbol{K}_s$ die Matrix der statischen Verstärkungsfaktoren der Regelstrecke darstellt.

Für das Produkt der (r, m)-Matrix $\boldsymbol{K}_s$ und der (m, r)-Matrix $\boldsymbol{K}$ gilt

$$\operatorname{rg}(\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{K}) \leqq \min(\operatorname{rg}\boldsymbol{K}_s, \operatorname{rg}\boldsymbol{K})\,,$$

wobei rg (.) den Rang der angegebenen Matrix bezeichnet. Die Bedingung (12) fordert

$$\text{rg}\,(\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{K}) = r\,.$$

Um eine Reglermatrix $\boldsymbol{K}$ finden zu können, die Gl. (12) erfüllt, muß folglich die Matrix $\boldsymbol{K}_s$ den Rang r haben.

Folgerung 1:

Für die Existenz einer stabilen I-Regelung ist es notwendig, daß die Regelstrecke nach Gl. (1) die Bedingung

$$\text{rg}\,\boldsymbol{K}_s = r \tag{14}$$

erfüllt.

Aus Gl. (14) folgt die bekannte Bedingung $m \geqq r$, d. h., die Regelstrecke darf nicht mehr Regelgrößen als Stellgrößen besitzen. In [7] wurde gezeigt, daß (bei vollständiger Kenntnis der Regelstrecke) die Bedingung (14) auch hinreichend für die Existenz einer stabilen I-Rückführung ist.

Die Bedingung (12) kann als *verallgemeinerte Gegenkopplungsbedingung* für Mehrgrößensysteme interpretiert werden. Für Strecken mit gleicher Anzahl von Eingangs- und Ausgangsgrößen ($m = r$) gilt

$$\det\,(-\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{K}) = \det\,(-\boldsymbol{K}_s)\cdot\det\,(\boldsymbol{K})\,.$$

Bedingung (12) bedeutet dann, daß die Reglermatrix $\boldsymbol{K}$ so gewählt werden muß, daß ihre Determinante dasselbe Vorzeichen wie die Determinante der mit (-1) multiplizierten statischen Verstärkung der Regelstrecke hat. Das stellt eine Verallgemeinerung der von Eingrößenregelungen her bekannten Tatsache dar, daß stabilisierende I-Rückführungen gegengekoppelt sein müssen, d. h. das entgegengesetzte Vorzeichen des statischen Verstärkungsfaktors besitzen müssen [9].

Folgerung 2:

Aus der notwendigen Stabilitätsbedingung (12) folgt für den Entwurf von I-Reglern, daß die Reglermatrix $\boldsymbol{K}$ so gewählt werden muß, daß sie zusammen mit der Statik $\boldsymbol{K}_s$ der Strecke die Determinanten-Bedingung (12) erfüllt.

3. Notwendige Kenntnisse über das statische Verhalten der Regelstrecke

Die im Satz 1 aufgestellte notwendige Stabilitätsbedingung zeigt, daß für die Existenz und den Entwurf einer stabilen I-Regelung das in der Matrix $\boldsymbol{K}_s$ wiedergegebene statische Verhalten der Regelstrecke von maßgebender Bedeutung ist. Dennoch ist es nicht erforderlich, die Matrix $\boldsymbol{K}_s$ exakt zu bestimmen. Sowohl die Existenzbedingung (14) für den stabilen I-Regler als auch die notwendige Stabilitätsbedingung (12) für die Wahl der Reglermatrix können überprüft werden, wenn für die statische Verstärkung der Strecke lediglich ein fiktiver Nominalwert $\hat{\boldsymbol{K}}_s$ und eine Abschätzung für die Unbestimmtheit $\delta\boldsymbol{K}_s = \boldsymbol{K}_s - \hat{\boldsymbol{K}}_s$ bekannt sind. Das soll in diesem Abschnitt in allgemeiner Form und im Abschnitt 4. anhand einer speziellen Abschätzung für $\delta\boldsymbol{K}_s$ dargestellt werden.

Es wird angenommen, daß die Regelstrecke die Existenzbedingung (14) erfüllt, da andernfalls auch bei exakter Kenntnis des Modells nach Gl. (1) kein I-Regler entworfen werden kann. Anstelle der Matrix $\boldsymbol{K}_s$ sei nur eine Menge $\boldsymbol{\Sigma}_k$ von (r, m)-Matrizen verfügbar. Diese Menge enthalte $\boldsymbol{K}_s$, aber es ist nicht bekannt, welches Element von $\boldsymbol{\Sigma}_k$ tatsächlich die Matrix $\boldsymbol{K}_s$ darstellt. Die Systemkenntnis beschränkt sich also auf die Tatsache, daß $\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Sigma}_k$ gilt. Dabei kann $\boldsymbol{\Sigma}_k$ in der Form

$$\boldsymbol{\Sigma}_k = \{\hat{\boldsymbol{K}}_s + \delta\boldsymbol{K}_s \text{ mit } \delta\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Delta}\} \tag{15}$$

dargestellt werden, wobei die Menge $\boldsymbol{\Delta}$ der möglichen Abweichungen des wahren Wertes von $\boldsymbol{K}_s$ vom fiktiven Nominalwert $\hat{\boldsymbol{K}}_s$ auch die (r, m)-Nullmatrix enthalten soll.

Durch die Beziehung $\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Sigma}_k$ ist das statische Verhalten der Strecke zwar durch eine Menge $\boldsymbol{\Sigma}_k$ von möglichen $\boldsymbol{K}_s$-Matrizen fixiert, alle Elemente von $\boldsymbol{\Sigma}_k$ können aber gleichermaßen Realisierungen der Matrix $\boldsymbol{K}_s$ sein. Deshalb muß der Regler $\boldsymbol{K}$ im Zusammenhang mit allen $\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Sigma}_k$ die notwendige Stabilitätsbedingung (12) erfüllen, wenn er gegenüber den Modellfehlern robust sein soll

$$\det\,(-\hat{\boldsymbol{K}}_s\boldsymbol{K} - \delta\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{K}) > 0 \quad \text{für alle} \quad \boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Delta}\,. \tag{16}$$

Diese Bedingung stellt eine Beschränkung für den Modellfehler $\delta\boldsymbol{K}_s$ dar.

Für Systeme mit gleicher Anzahl von Stell- und Regelgrößen ($m = r$) kann Gl. (16) in getrennte Bedingungen für $\boldsymbol{K}$ sowie $\hat{\boldsymbol{K}}_s$ und $\delta\boldsymbol{K}_s$ umgeformt werden. Wegen $\boldsymbol{0} \in \boldsymbol{\Delta}$ folgt aus Gl. (16) die notwendige Bedingung

$$\det\,(-\hat{\boldsymbol{K}}_s\boldsymbol{K}) = \det\,(-\hat{\boldsymbol{K}}_s)\,\det\,(\boldsymbol{K}) > 0 \tag{17}$$

für deren Erfüllung auch

$$\text{rg}\,\hat{\boldsymbol{K}}_s = r \tag{18}$$

notwendig ist. Gleichung (16) kann deshalb durch Multiplikation mit $(\hat{\boldsymbol{K}}_s\boldsymbol{K})^{-1}$ in die notwendige Bedingung

$$\det\,(\boldsymbol{I} + \delta\boldsymbol{K}_s\hat{\boldsymbol{K}}_s^{-1}) > 0 \quad \text{für alle} \quad \delta\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Delta} \tag{19}$$

überführt werden.

Die Gln. (18) und (19) zeigen, wie genau die Systembeschreibung $\boldsymbol{\Sigma}_k$ mindestens sein muß, damit ein robuster I-Regler entworfen werden kann. Daraus ist ersichtlich, daß es für die Existenz eines robusten I-Reglers nicht ausreicht, daß mit Hilfe der vorhandenen Information $\boldsymbol{\Sigma}_k$ lediglich die Einhaltung der Bedingung (14) nachgewiesen werden kann, die bei vollständiger Kenntnis der Regelstrecke für die Existenz eines stabilen I-Reglers bereits hinreichend ist. Dafür wäre nämlich ausreichend, daß Gl. (18) gilt und die Determinante nach Gl. (19) lediglich von Null verschieden ist. Da der Regler $\boldsymbol{K}$ aber für alle $\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Sigma}_k$ auch die schärfere Bedingung (12) erfüllen muß, muß die Statik der Strekke so genau bekannt sein, daß die Gln. (18) und (19) gelten.

Für Systeme mit mehr Stell- als Regelgrößen ($m \geqq r$) ist die in Gl. (16) enthaltene Forderung an die Modellgenauigkeit infolge der größeren Freiheitsgrade bei der Wahl von $\boldsymbol{K}$ etwas schwächer. Mit Hilfe einer Darstellung der Reglermatrix $\boldsymbol{K}$ durch eine (m, r)-Matrix $\boldsymbol{T}$ und eine reguläre (r, r)-Matrix $\tilde{\boldsymbol{K}}$

$$\boldsymbol{K} = \boldsymbol{T}\cdot\tilde{\boldsymbol{K}} \tag{20}$$

erhält man aus Gl. (16) die folgende Bedingung:

Satz 2:

Für die Existenz eines robusten I-Reglers ist es notwendig, daß eine (m, r)-Matrix $\boldsymbol{T}$ existiert, so daß die Matrix $\hat{\boldsymbol{K}}_s\boldsymbol{T}$ regulär ist und die Bedingung

$$\det\,(\boldsymbol{I} + \delta\boldsymbol{K}_s\boldsymbol{T}(\hat{\boldsymbol{K}}_s\boldsymbol{T})^{-1} > 0 \quad \text{für alle} \quad \delta\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Delta} \tag{21}$$

erfüllt ist.

Da diese Bedingung für den Reglerentwurf wenig konstruktiv ist, kann — ohne die Forderung (21) wesentlich zu verschärfen — für $\boldsymbol{T}$ die Pseudoinverse von $\hat{\boldsymbol{K}}_s$ eingesetzt werden

$$\hat{\boldsymbol{K}}_s^{+} = \hat{\boldsymbol{K}}_s'(\hat{\boldsymbol{K}}_s\hat{\boldsymbol{K}}_s')^{-1}\,, \tag{22}$$

die für alle $\hat{\boldsymbol{K}}_s$ nach Gl. (18) existiert. Die Bedingung (21) erhält damit eine der Gl. (19) vergleichbare Form

$$\det\,(\boldsymbol{I} + \delta\boldsymbol{K}_s\hat{\boldsymbol{K}}_s^{+}) > 0 \quad \text{für alle} \quad \delta\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Delta}\,.$$

Die Menge der Reglermatrizen $\boldsymbol{K}$, die der Stabilitätsbedingung (16) genügen, ist für Systeme mit $m = r$ durch Gl. (17) charakterisiert. Allgemein gilt

Satz 3:

Unter der Bedingung (21) aus Satz 2 gibt es Reglermatrizen $\boldsymbol{K}$, die die notwendige Stabilitätsbedingung (12) für alle $\boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Sigma}_k$ erfüllen. Die Menge dieser Matrizen wird durch Gl. (20) beschrieben, wobei $\boldsymbol{T}$ eine Matrix ist, mit der Gl. (21) erfüllt wird, und $\tilde{\boldsymbol{K}}$ die Bedingung

$$\det(-\hat{\boldsymbol{K}}_s \boldsymbol{T}) \det(\tilde{\boldsymbol{K}}) > 0 \tag{23}$$

erfüllt.

Für Systeme mit $m = r$ sind die Gln. (23) und (17) äquivalent. Für $m > r$ kann insbesondere $\boldsymbol{T} = \hat{\boldsymbol{K}}_s^+$ gesetzt werden, wodurch Gl. (23) in die Forderung

$$\det(-\hat{\boldsymbol{K}}_s \hat{\boldsymbol{K}}_s^+) \cdot \det(\tilde{\boldsymbol{K}}) = (-1)^r \cdot \det(\tilde{\boldsymbol{K}}) > 0$$

übergeht.

4. Ein Verfahren zur Berechnung robuster I-Regler

Im allgemeinen wird der bei der Modellbildung auftretende Fehler nicht durch diskrete Werte, sondern durch Abschätzungen eingegrenzt. Der Modellfehler $\delta \boldsymbol{K}_s$ kann dann z. B. durch

$$\delta \boldsymbol{K}_s \in \boldsymbol{\Delta}_N = \{\delta \boldsymbol{K}_s : ||\delta \boldsymbol{K}_s|| \leqq k\} \tag{24}$$

beschrieben werden, wobei k die obere Fehlerschranke für $\delta \boldsymbol{K}_s$ darstellt und aus der Unsicherheit resultiert, mit der die Elemente von $\boldsymbol{K}_s$ bestimmt werden können. In diesem Abschnitt soll untersucht werden, welcher Bedingung das Fehlermaß k genügen muß, damit die Forderungen des Satzes 2 erfüllt sind. Anschließend soll gezeigt werden, daß die dadurch charakterisierte Modellkenntnis nur um eine grobe Information über das dynamische Verhalten der Regelstrecke ergänzt werden muß, damit ein robuster I-Regler berechnet werden kann.

4.1. *Notwendige Modellgenauigkeit bei normbeschränktem Fehler*

Die im Satz 2 aufgestellte Existenzbedingung ist nur erfüllbar, wenn der Modellfehler k in Gl. (24) hinreichend klein ist, d. h. wenn für ein genügend kleines $\bar{k}$ die Ungleichung

$$k < \bar{k} \tag{25}$$

erfüllt ist. Daß eine solche obere Schranke $\bar{k}$ eingehalten werden muß, erkennt man, wenn die Bedingung (21) für

$$\delta \boldsymbol{K}_s = -\frac{k}{||\hat{\boldsymbol{K}}_s||} \cdot \hat{\boldsymbol{K}}_s \in \boldsymbol{\Delta}_N$$

angewendet wird. Gl. (21) ist nur erfüllt, wenn $k < ||\hat{\boldsymbol{K}}_s||$ gilt. Damit erhält man als eine obere Schranke für $\bar{k}$

$$\bar{k} \leqq ||\hat{\boldsymbol{K}}_s|| \,. \tag{26}$$

Wie groß $\bar{k}$ sein darf, ohne daß die Bedingung (21) verletzt wird, läßt sich allgemein (d. h. für beliebig vorgegebenes $\hat{\boldsymbol{K}}_s$) nur schwer angeben. Im folgenden soll deshalb Gl. (18) vorausgesetzt und mit der Schranke

$$\bar{k} = \frac{1}{||\hat{\boldsymbol{K}}_s^+||} \tag{27}$$

gerechnet werden. Die Beschränkungen (25) und (27) für k sind hinreichend für die Erfüllung der Gl. (21), da für $\boldsymbol{T} = \hat{\boldsymbol{K}}_s^+$

$$|\lambda_i(\delta \boldsymbol{K}_s \boldsymbol{T}(\hat{\boldsymbol{K}}_s \boldsymbol{T})^{-1})| \leqq ||\delta \boldsymbol{K}_s \hat{\boldsymbol{K}}_s^+|| \qquad (i = 1, 2, \ldots, r)$$
$$\leqq ||\delta \boldsymbol{K}_s|| \, ||\hat{\boldsymbol{K}}_s^+|| < 1$$

gilt und somit alle Eigenwerte von $\boldsymbol{I} + \delta \boldsymbol{K}_s \boldsymbol{T}(\hat{\boldsymbol{K}}_s \boldsymbol{T})^{-1}$ positiven Realteil haben. Aus einem Vergleich der Bedingungen (26) und (27) für $\bar{k}$ erkennt man, daß $\bar{k}$ gegenüber der Schranke Gl. (27) durch genaue Auswertung von Gl. (21) höchstens um den Faktor $||\hat{\boldsymbol{K}}_s|| \, ||\hat{\boldsymbol{K}}_s^+||$ vergrößert werden kann.

Entsprechend Satz 3 erfüllen unter den Bedingungen (25) und (27) alle Matrizen

$$\boldsymbol{K} = \hat{\boldsymbol{K}}_s^+ \cdot \tilde{\boldsymbol{K}} \quad \text{mit} \quad \det(-\tilde{\boldsymbol{K}}) > 0 \tag{28}$$

die notwendige Stabilitätsbedingung (16).

4.2. *Einstellung des robusten I-Reglers*

Anhand der durch die Gln. (16), (24), (25) und (27) charakterisierten Informationen über die Statik der Regelstrecke und einer groben Abschätzung für das dynamische Verhalten soll nun eine robuste stabile I-Regelung berechnet werden. Es wird dabei gleichzeitig gezeigt, daß zur Lösung der Entwurfsaufgabe (I), (II) neben der bereits charakterisierten Abschätzung für $\boldsymbol{K}_s$ nur noch eine sehr grobe Abschätzung für die Übergangsfunktionen der Strecke erforderlich ist.

Für die um den I-Anteil des Reglers nach Gl. (4) erweiterte Strecke nach Gl. (1) gilt bei $\boldsymbol{w} \equiv \boldsymbol{0}$, $\boldsymbol{x}(0) = \boldsymbol{0}$

$$\boldsymbol{z}(t) = \int_0^t \boldsymbol{y}(\tau) \, \mathrm{d}\tau \,,$$
$$= \int_0^t \boldsymbol{G} * \boldsymbol{u} \, \mathrm{d}\tau = \boldsymbol{H} * \boldsymbol{u} \,. \tag{29}$$

Dabei ist $\boldsymbol{G}(t) = \boldsymbol{D} \cdot \delta(t) + \boldsymbol{C} \, \mathrm{e}^{\boldsymbol{A}t} \boldsymbol{B}$ die Gewichtsfunktionsmatrix und $\boldsymbol{H}(t) = \int_0^t \boldsymbol{G}(\tau) \, \mathrm{d}\tau$ die Übergangsfunktionsmatrix der Regelstrecke. Anstelle von $\boldsymbol{H}(t)$ sei über das dynamische Verhalten lediglich eine Näherung $\hat{\boldsymbol{H}}(t)$ und eine Fehlerschranke $h(t)$ bekannt, so daß

$$\boldsymbol{H}(t) \in \boldsymbol{\Sigma}_H = \{\boldsymbol{H} = \hat{\boldsymbol{H}} + \delta \boldsymbol{H}(t) \text{ mit } ||\delta \boldsymbol{H}(t)|| \leqq h(t)\} \tag{30}$$

ist. Im Zusammenhang mit den Gln. (15) und (24) gilt

$$\boldsymbol{K}_s = \lim_{t \to \infty} \boldsymbol{H}(t); \qquad \hat{\boldsymbol{K}}_s = \lim_{t \to \infty} \hat{\boldsymbol{H}}(t); \qquad k = \lim_{t \to \infty} h(t) \,. \tag{31}$$

Es wird vorausgesetzt, daß $\boldsymbol{K}_s$ und k die Bedingungen (18), (25) und (27) erfüllen. Zur Charakterisierung der Stabilitätseigenschaft der Regelstrecke sei eine Beruhigungszeitkonstante T_2 bekannt, so daß für $t \geqq T_1$ das Erreichen des statischen Endwertes durch

$$||\boldsymbol{H}(t) - \boldsymbol{K}_s|| \leqq ||\boldsymbol{H}(T_1) - \boldsymbol{K}_s|| \, \mathrm{e}^{-(t-T_1)/T_2} \quad \text{für} \quad t \geqq T_1 \tag{32}$$

beschrieben werden kann.

Es soll nun gezeigt werden, daß die durch die Gln. (30) und (32) beschriebenen Informationen ausreichend sind, um einen robusten I-Regler zu berechnen. Dabei wird ein ähnlicher Weg wie in [7] beschritten. Das geregelte System wird in zwei Teilsysteme (TS) zerlegt und die Stabilität für die Verkopplung beider TS mit Hilfe der in [5] beschriebenen hinreichenden Stabilitätsbedingung für gekoppelte Systeme überprüft. Durch eine entsprechende Einstellung der Reglerparameter wird die Erfüllung dieser Stabilitätsbedingung gesichert.

Das geregelte System nach den Gln. (4) und (29) wird beschrieben durch

$$\boldsymbol{z} = \big(\hat{\boldsymbol{H}}(t) + \delta \boldsymbol{H}(t)\big) * \boldsymbol{u}$$
$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}\boldsymbol{z}$$

und kann durch

$$\boldsymbol{z} = \boldsymbol{z}_1 + \boldsymbol{z}_2$$

in

$$\text{TS1:} \quad \boldsymbol{z}_1 = \boldsymbol{G}_1 * \boldsymbol{u} \tag{33}$$

mit

$$\boldsymbol{G}_1(t) = \hat{\boldsymbol{H}}(t) - \hat{\boldsymbol{K}}_s + \delta \boldsymbol{H}(t) - \delta \boldsymbol{K}_s$$

$$\text{TS2: } z_2 = (\hat{K}_s + \delta K_s) * u\,, \qquad (34)$$
$$u = Kz_1 + Kz_2$$

zerlegt werden. Mit dem Ansatz

$$K = -a\hat{K}_s^+\,, \qquad (35)$$

der der Verwendung von $\tilde{K} = -aI$ in Gl. (28) entspricht und durch den somit die notwendige Stabilitätsbedingung (16) erfüllt wird, erhält man aus Gl. (34) für das TS2

$$\dot{z}_2 = -a(I + \delta K_s \hat{K}_s^+)\, z_2 - a(I + \delta K_s \hat{K}_s^+)\, z_1\,,$$
$$u = -a\hat{K}_s^+ z_2 - a\hat{K}_s^+ z_1$$

und

$$u = G_2 * z_1$$

mit

$$G_2(t) = -a\hat{K}_s^+ \delta(t) + a^2 \hat{K}_s^+ \, \mathrm{e}^{-a(I+\delta K_s \hat{K}_s^+)t}(I + \delta K_s \hat{K}_s^+)\,. \qquad (36)$$

Das Stabilitätskriterium [4] beruht auf der Bildung von Eingrößensystemen mit den Gewichtsfunktionen $g_1(t)$ und $g_2(t)$, die die Norm der Gewichtsfunktionsmatrizen $G_1(t)$ bzw. $G_2(t)$ beider TS majorisieren. Das gekoppelte System ist stabil, wenn beide TS stabil sind und die Bedingung

$$v_1 \cdot v_2 < 1 \qquad (37)$$

mit

$$v_1 = \int_0^\infty g_1(t)\, \mathrm{d}t; \qquad g_1(t) \geqq \|G_1(t)\| \qquad (38)$$

erfüllt ist. Es gilt

$$\|G_1(t)\| \leqq \max_{H(t) \in \Sigma_H} \|\hat{H}(t) - \hat{K}_s + \delta H(t) - \delta K_s\| \leqq$$
$$\leqq \|\hat{H}(t) - \hat{K}_s\| + \max_{H(t) \in \Sigma_H} \|\delta H(t)\| + \max_{\delta K_s \in \Delta_N} \|\delta K_s\|\,. \qquad (39)$$

Außerdem gilt wegen Gl. (32) für $t \geqq T_1$

$$\|G_1(t)\| = \|H(t) - K_s\| \leqq$$
$$\leqq \|H(T_1) - K_s\|\, \mathrm{e}^{-(t_1 - T_1)/T_2}$$
$$\leqq [\|\hat{H}(T_1)\| + h(T_1) + \|\hat{K}_s\| + k]\, \mathrm{e}^{-(t-T_1)/T_2}\,. \qquad (40)$$

Folglich erhält man aus den Gln. (39) und (40) ein v_1, das die Bedingung (38) erfüllt,

$$v_1 = \int_0^{T_1} \|\hat{H}(t) - \hat{K}_s\|\, \mathrm{d}t + \int_0^{T_1} h(t)\, \mathrm{d}t + T_1 \cdot k +$$
$$+ T_2(\|\hat{H}(T_1)\| + h(T_1) + \|\hat{K}_s\| + k)\,. \qquad (41)$$

Für das TS2 läßt sich v_2 aus Gl. (36) berechnen:

$$\|G_2(t)\| \leqq a\|\hat{K}_s^+\| + a^2\|\hat{K}_s^+\|\, \mathrm{e}^{-at} \max_{\delta K_s \in \Delta_N} \|\mathrm{e}^{a\delta K_s \hat{K}_s^+ \cdot t}\| \times$$
$$\times \max_{\delta K_s \in \Delta_N} \|I + \delta K_s \hat{K}_s^+\|$$
$$\leqq a\|\hat{K}_s^+\| + a^2\|\hat{K}_s^+\|\, \mathrm{e}^{-a(1-k\|\hat{K}_s^+\|)\,t}\,(1 + k\|\hat{K}_s^+\|)\,,$$
$$v_2 = a\|K_s^+\|\left(1 + \frac{1 + k\,\|K_s^+\|}{1 - k\,\|\hat{K}_s^+\|}\right) = \frac{2a\,\|\hat{K}_s^+\|}{1 - k\,\|\hat{K}_s^+\|}\,. \qquad (42)$$

Dabei wurden die Ungleichungen (25) und (27) ausgenutzt. Aus der Stabilitätsbedingung (37) folgt, daß das geregelte System stabil ist, wenn a der Ungleichung

$$0 < a < \frac{1 - k\,\|\hat{K}_s^+\|}{2\,\|\hat{K}_s^+\|\, v_1} = \bar{a} \qquad (43)$$

genügt.

Satz 4

Gegeben sei eine lineare Regelstrecke, deren Übergangsverhalten durch die Gln. (30) und (32) beschrieben ist. Sind die notwendigen Bedingungen (18), (25) und (27) erfüllt, so existieren robuste I-Regler nach Gl. (4). Derartige Regler sind durch die Gln. (35) und (43) beschrieben. Sie können unter Zuhilfenahme der in den Gln. (30) und (32) enthaltenen Informationen berechnet werden.

Dieses Ergebnis zeigt, daß für den Entwurf eines stabilen I-Reglers nur sehr wenige Informationen erforderlich sind. Die notwendigen Kenntnisse beziehen sich hauptsächlich auf das statische Verhalten, denn die einzige maßgebende Voraussetzung für die Berechnung der Reglermatrix ist in Gl. (24) enthalten. Alle weiteren Schranken ($h(t)$ für $0 \leqq t \leqq T_1$ sowie T_1 und T_2) können beliebig groß sein. Es muß praktisch nur gesichert sein, daß die Übergangsfunktionen der Regelstrecke in endlicher Zeit in die Nähe ihrer statischen Endwerte kommen. Sehr große Modellfehler dieser Art gefährden weder die Existenz der robusten I-Regelung noch die Anwendbarkeit des beschriebenen Entwurfsverfahrens. Sie führen lediglich auf einen sehr kleinen Einstellbereich $(0, \bar{a}]$ für den Reglerparameter a und damit gegebenenfalls auf einen kleinen Stabilitätsrand für das geregelte System [7].

Zusammenfassung

Es wurden die für den Entwurf einer stabilen I-Regelung notwendigen Informationen über das Verhalten der Regelstrecke ermittelt. Dabei zeigte sich, daß für den Entwurf des I-Reglers die Statik der Strecke maßgebend ist und die Reglermatrix bereits mit Hilfe einer näherungsweisen Darstellung des statischen Verhaltens und einer groben, theoretisch beliebig ungenauen Abschätzung für das Übergangsverhalten der Strecke berechnet werden kann.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind anwendbar, um I-Regler zu berechnen, die bei unterschiedlichen Arbeitspunkten der Anlage funktionsfähig sein müssen, oder um I-Regler ohne genaue Modellbildung während der Inbetriebnahme einzustellen (Tuning). In dieser Hinsicht stellt das in Abschnitt 4. angegebene Entwurfsverfahren eine Erweiterung der in [2] und [8] angegebenen Einstellregeln dar, denn für seine Anwendung sind auch für die statische Verstärkung K_s keine exakten Messungen notwendig, und bei grober Kenntnis der Übergangsfunktionen ist sogar eine vollständige Bestimmung der Reglerparameter möglich. Die durchgeführten Untersuchungen konzentrierten sich auf die Robustheit des Reglers bezüglich der Stabilität und des stationären Störausgleichs. Sie zeigen, daß erst für weiterführende Zielstellungen, wie z. B. eine zweckmäßige Gestaltung der Dynamik des geregelten Systems durch P- und D-Anteile im Regler, genauere Informationen über das dynamische Verhalten der Regelstrecke notwendig sind. Das verdeutlicht, daß die meisten modernen Entwurfsverfahren für Mehrgrößenregler viel zu viel Informationen über die Regelstrecke voraussetzen, indem sie unabhängig von den tatsächlich vorhandenen Güteforderungen von der vollständigen Systembeschreibung (z. B. in der Form (1)) ausgehen.

Literatur

[1] *Davison, E. J.:* The robust control of a servomechanism problem for linear time-invariant multivariable systems. IEEE Trans. AC-21 (1976) No. 1, pp. 25–34; AC-22 (1977) No. 2, p. 283.
[2] *Davison, E. J.:* Multivariable tuning regulators: The feedforward and robust control of a general servomechanism problem. IEEE Trans. AC-21 (1976) No. 1, pp. 35–47.
[3] *Gantmacher, F. R.:* Matrizenrechnung, Band I. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1958.
[4] *Korn, U.; Krüger, H.:* Mehrgrößenregelalgorithmen unter dem Aspekt ihrer Umsetzbarkeit mit Mehrkanal-Mikroprozessor-Reglern. Wiss. Z. TH Magdeburg 25 (1981) H. 4, S. 93–97.
[5] *Lunze, J.:* Ein Verfahren zur Stabilitätsprüfung für gekoppelte Systeme bei fehlerbehafteten Modellen. msr 23 (1980) H. 7, S. 374–378.
[6] *Lunze, J.:* Ein Verfahren zum Entwurf von Mehrgrößenreglern für unvollständig bekannte Regelstrecken. msr 24 (1981) H. 8, S. 428–432.
[7] *Lunze, J.:* Determination of stabilizing output feedback matrices to initiate optimal control procedures. Elektr. Informationsverarb. und Kybernetik (in Vorbereitung).
[8] *Penttinen, J.; Koivo, H. N.:* Multivariable tuning regulators for unknown systems. Automatica 16 (1980) No. 4, pp. 393–398.
[9] *Reinisch, K.:* Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
[10] *Töpfer, H.; Fuchs, H.; Willem, H.:* Moderne gerätetechnische Mittel und ihre Konsequenzen für neue Automatisierungskonzepte. msr 23 (1980) H. 1, S. 2–10.

msr 7640

J. Krummsdorf, Dresden[1])

Die IFAC-Klassifikation zur Erschließung automatisierungstechnischer Literatur für die Forschung – 25 Jahre Praxis

IA 6.7.

0. Einleitung

In großen Abständen erscheinen in technischen Fachzeitschriften Artikel zu Fragen der Literaturklassifikation. Zur Veranschaulichung einige Beispiele: „Anwendung der Dezimalklassifikation in der Regelungs- und Steuerungstechnik" von *O. Frank* (Regelungstechnik 1956), „Der Ingenieur und das Schrifttum" von *I. Tehnzen* (Industrieanzeiger 1969), „Dezimalklassifikation gestern SOPS – AIDOS heute" von *W. Bittorf* (Wissenschaft und Fortschritt 1981). Die Reihe derartiger Veröffentlichungen in Zeitschriften einzelner Fachdisziplinen läßt sich beliebig ergänzen. In allen Fällen sucht der Verfasser den Wissenschaftler anzusprechen, um ihm Unterstützung durch Aufbereitung von Literatur (Bücher, Zeitschriften, Prospekte, Patente) mit Hilfe einer Klassifizierung anzubieten.

1. Profil und Bestand der Bibliothek Technische Kybernetik

Im folgenden soll die Erschließung von Dokumenten an der Bibliothek Technische Kybernetik des ZKI der AdW beschrieben werden. Der Bestand umfaßt zur Zeit 10000 systematisch in Freihand aufgestellte Bücher, eine 15000 Titel umfassende Dokumentation der Jahre 1950 bis 1960 und eine 2. Kartei nach dem 1. IFAC-Kongreß. Außerdem besteht eine sachlich geordnete Prospektsammlung Automatisierungstechnik, die Anlagen und Geräte seit 1960 nachweist.

Das Erwerbungsprofil ist an die Forschungsthemen der Institution und darüber hinaus an zentrale Entwicklungsrichtungen der BMSR-Technik gebunden. Der Bestand konnte in 25 Jahren mit besonderer Beachtung sowjetischer Literatur kontinuierlich aufgebaut und Wissenschaftlern des Instituts, Ingenieuren der Industrie und dem Lehrkörper der Hochschulen bereitgestellt werden. Bedingt durch den hochqualifizierten Benutzerkreis vollzog sich die Entwicklung der Bibliothek in engster Zusammenarbeit von Bibliothekar und Wissenschafler. Mit Gründung der damaligen Arbeitsstelle für Regelungs- und Steuerungstechnik der DAW 1956 wurde eine Bibliothek mit eigener Systematik konzipiert. Mit der Klassifizierung der Literatur wurde ein Wissenschaftler beauftragt, um eine sachlich einwandfreie Zuordnung zu garantieren.

2. Entwicklung einer Dokumentation und deren Klassifizierung

Parallel dazu wurde eine Dokumentation über Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik und Nachrichtenverarbeitung (Automatisierungstechnik) aufgebaut. Tafel 1 zeigt die Haupttitel und läßt bereits die volle Widerspiegelung des Sachgebietes erkennen. Obwohl keine Kontakte zu den Verfassern der kommenden IFAC-Klassifikation bestanden, sind analoge Zuordnungen abzulesen. Insgesamt bestanden 250 Gruppen, die dezimal untergeordnet waren und zusätzliche Kennzeichnung mit Buchstaben ermöglichten. Über die Durchführung der Klassifikationsarbeiten berichtete *K. Reinisch* bereits 1960 [11]. Genutzt wurden die Referate des Technischen Zentralblattes, Dokumentationsdienste der Industrie und eigene Zeitschriftenauswertungen.

In den Jahren von 1958 bis 1964 war für das Gebiet der Automatisierungstechnik die Diskussion um eine spezifische Klassifikation international stark ausgeprägt. Mittelpunkt dieser Aktivitäten war die von der International Federation of Automatic Control (IFAC) beschlossene Einführung einer internationalen Bibliographie für das Gebiet „automatic control" [1] bis [3]. Die von *V. Broida* aufgestellte vorläufige Klassifikation war für die Flut der Zeitschriftenartikel mit 72 Titeln zu ungenau (Tafel 2). Sie wurde von ihm selbst unter Zuhilfenahme der 788 Gruppen umfassenden Klassifikation von *Klimek* zu der endgültigen IFAC-Klassifikation mit 431 Titeln und Untertiteln erweitert [6]. Die deutsche Fassung wurde in der „Regelungstechnik" und der „msr" vorgestellt [5] und [8]. Die einzelnen Phasen dieser Entwicklung sind in Tafel 3 nochmals chronologisch aufgeführt und zeigen die sehr positiven Ansätze einer breiten Anwendung.

Tafel 1. Dokumentation Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik und Nachrichtenverarbeitung vom Jahr 1959 (Verfasser *K. Reinisch* [11])

0	Sammelwerke der Regelungs- und Steuerungstechnik
1	Regelungs- und Steuerungstheorie
2	Nachrichtenverarbeitung (Rechentechnik), -umformung und -fernübertragung
3	Geräte der Regelungs- und Steuerungstechnik
4	Messungen und Regelungen physikalischer Größen, Meßgeräte
5	Anwendungen der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik und der Nachrichtenverarbeitung in Industrie, Nachrichten- und Verkehrswesen
6	Anwendungen der Nachrichtenverarbeitung sowie der Regelungs- und Steuerungstechnik in Verwaltung, Handel, Wissenschaft und Forschung

Tafel 2. Vorläufige Klassifikation für die Bibliographie der Regelungstechnik, verwendet für UNESCO-Bücherliste zum 1. Weltkongreß der IFAC (Verfasser *V. Broida* [1])

1	Theorie der Regelung und Steuerung
2	Allgemeine Informationen über Regelungs- und Steuerungssysteme
3	Physikalische und mechanische Anwendungsbereiche der Regelungs- und Steuerungstechnik
4	Regel- und Steuereinrichtungen
5	Anwendung der Regelungs- und Steuerungstechnik in der Industrie, im Transportwesen und im Nachrichtenwesen
6	Verschiedene Informationen über Regelungs- und Steuerungstechnik

3. Festlegung auf die einheitliche Verwendung der IFAC-Klassifikation

Für die Bibliothek des Instituts für Regelungs- und Steuerungstechnik wurde 1964 beschlossen, alle Informationsmittel auf die IFAC-Klassifikation umzustellen.

Der vorhandene Buchbestand wurde umgeordnet, die Dokumentationskartei abgebrochen. Nach gründlicher Beratung wurde eine Beschränkung der Gliederung vorgenommen, so daß 61 Gruppen für die Spezialbibliothek, gekennzeichnet mit IA und Zahlenfolge, verblieben sind. Bei detaillierterer Zuordnung wäre die sachliche Aufstellung in Freihand nicht mehr realisierbar gewesen. Die gewählte Form bestätigte gleichzeitig den bibliothekarischen Erfahrungswert, Gruppen so groß bzw. klein zu halten, daß der Bestand jeweils etwa 50 Titel umfaßt (Tafel 4).

Für den Neubeginn der Dokumentation mußten die mit der Industrie, der Redaktion des Technischen Zentralblattes und der „msr" getroffenen Vereinbarungen abgewartet werden, die Referate neben der DK-Zahl mit IA ... nach der IFAC-Klassifikation zu kennzeichnen [7] bis [9].

Der uneingeschränkte Vorteil der einheitlichen Klassifikation aller literarischen Dokumente liegt für den wissenschaftlichen Nutzer und den bibliothekarischen Bearbeiter gleichermaßen in

[1]) Mitteilung aus dem Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Institutsteil Dresden.

Tafel 3. Zeittafel der Entwicklung der IFAC-Klassifikation

1957	Gründung der International Federation of Automatic Control (IFAC) in Paris als wissenschaftliche Vereinigung zur Pflege der Theorie der automatischen Systeme
1958	Beschluß der UNESCO über Herausgabe einer internationalen Bibliographie der Automatisierungstechnik mit eigener Systematik
15. Mai 1960	Liste von 757 Büchern der Regelungstechnik, veröffentlicht von der UNESCO. Vorläufige Klassifikation von Prof. *V. Broida* mit 72 Titeln und Untertiteln [1] bis [3]
27. Juni bis 2. Juli 1960	1. IFAC-Weltkongreß in Moskau
1961	Ausgabe der IFAC-Literaturklassifikation in englischer, russischer, französischer und deutscher Sprache [4] bis [6] und [8].
ab 1962	Arbeitsgruppe „Grundlagen" des Arbeitskreises C 34 (Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik) bemüht sich um Einführung der IFAC-Klassifikation beim Technischen Zentralblatt der DAW und bei Dokumentationsdiensten für BMSR-Technik und Automatisierung in der Industrie. Erscheinen der „International Bibliography of Automatic Control" (quarterly) im Verlag Presses Académiques Européennes, Bruxelles; Zuarbeit der DDR vom Institut für Regelungs- und Steuerungstechnik der DAW
1963	Ab Heft 8 der Zeitschrift „messen-steuern-regeln" IFAC-Klassifikation für Fachbeiträge eingeführt [8]. Mit Jahrgang 1, Heft 1, der „Technischen Information GRW" des VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow Kartei der Artikel nach IFAC-Klassifikation [7]. Schnelldokumentation Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik des Instituts für Regelungstechnik Berlin verwendet IFAC-Klassifikation ab Heft 11/1963.
1964	Ab Heft 1 des Technischen Zentralblattes, Abteilung Elektrotechnik und Maschinenwesen, werden Hauptabschnitte für Steuerungs- und Regelungstechnik eingeführt, und für diese wird die IFAC-Klassifikation zusätzlich angegeben [9].
Februar 1964	Grundsätzliche Zustimmung des ZIID zur zusätzlichen Einführung der IFAC-Systeme für die Dokumentationsdienste.
noch 1964	Ab Mai IFAC-Klassifikation verbindlich eingeführt bei Dokumentationsdienst „BMSR-Technik".
1966	Erscheinen der „Control abstracts" bei „The Institution of Electrical Engineers", London. 6 Hauptgruppen mit IFAC-Klassifikation übereinstimmend.
1973	Neugliederung der „Computer and Control abstracts" herausgegeben von INSPEC, London, der IFAC-Klassifikation angenähert.

Tafel 4. Literaturklassifikation der IFAC 1961 in Englisch, Russisch, Französisch, Deutsch [4] bis [6] und [8] (Verfasser *V. Broida*)

1	Allgemeine und mathematische Theorie der Regelung und Steuerung
2	Theoretische und experimentelle Untersuchung technischer Regelungs- und Steuerungssysteme und ihrer Bauglieder
3	Physikalische Anwendungsbereiche der Regelungs- und Steuerungstechnik
4	Regel- und Steuereinrichtungen und ihre Bauglieder
5	Anwendungen der Regelungs- und Steuerungstechnik
6	Sonstige Informationen über Regelungs- und Steuerungstechnik

der Erlernung und Beherrschung nur eines Systems. Für Veröffentlichungen in den Fachzeitschriften des In- und Auslands, für Recherchen in Büchern, Zeitschriften, Referateblättern bzw. Dokumentationsdiensten ist nur ein System gültig.

4. Stagnation infolge Aufkommens neuartiger Klassifikationsmethoden

Damit war Mitte der sechziger Jahre eine Glanzzeit der Einheitlichkeit der Information in der Automatsiierungstechnik erreicht, die nur eine kurze Zeitspanne anhielt. Die von der UNESCO herausgegebene internationale Bibliographie konnte nur in

Tafel 5. Gruppe IA 2.8. Simulations- und Rechentechnik

IA 2.8.1.	Systemsimulation, allgemein Modellierung, mathematische Grundlagen der Modellierung und Simulation
IA 2.8.1.1.	Simulation kontinuierlicher Systeme Programmsysteme
IA 2.8.1.2.	Simulation diskreter Systeme Programmsysteme
IA 2.8.2.	Rechentechnik, allgemein Einführung und Anwendung, EDV-Organisation, Monographien, Sammelwerke, Serien
IA 2.8.3.	Digitalrechner, digitale Systeme Einführung in Digitalrechentechnik, Digitalrechnerfamilien, Prinzipien, Universal-, Klein- und Mikrorechner
IA 2.8.3.1.	Entwurf von Rechenwerken, logischen Systemen, Mikroprozessoren
IA 2.8.3.2.	Programmierung von Digitalrechnern Systemsoftware, Betriebssysteme, Translator, Compiler, Interpreter, Programmiersprachen
IA 2.8.4.	Analog- und Hybridrechner Analogrechner, iterative Analogrechner, hybride Analogrechner, Digital-Differential-Analysator
IA 2.8.4.1.	Analoge und hybride Rechentechnik
IA 2.8.4.2.	Programmierung von Analog- und Hybridrechnern

7 Vierteljahresheften erscheinen [4]. Die nationalen Zeitschriftenschauen in „Regelungstechnik" und „msr" wurden wieder aufgegeben. Im Rahmen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit im RGW wurden die Dokumentationsdienste der Industrie und das Technische Zentralblatt zugunsten von Dokumentationsdiensten mit internationaler Titelmeldung eingestellt. Die Folge war eine Stagnation der Dokumentation bei der Bibliothek Technische Kybernetik, da die neuen Referateblätter nicht mehr in Karteiform hergestellt waren. Für die Jahre 1957 bis 1977 sind die Karteien für retrospektive Recherchen noch immer wertvoll und bieten einen vollständigen, sachlich gegliederten Überblick über die Entwicklungen der Automatisierungstechnik.

Zunehmende Bedeutung erlangten die „Computer and Control Abstracts", die in den letzten Jahren zusätzlich Rechnerausdrucke aufgrund von Nutzerprofilen herstellen und damit dem Wissenschaftler eine sehr wertvolle Zuarbeit leisten. Für eine Dokumentation sind sie ungeeignet. Die als Speicher dienenden internationalen Datenbanken müssen erst in der Zukunft erprobt werden.

Für die Buchsammlung wurde die IFAC-Klassifikation konsequent beibehalten. Mit Ausweitung der Rechentechnik wurden Ergänzungen innerhalb des Titels 2 (Tafel 5) und für die Gruppe 3 eine Spezialisierung durch

3.0 Meßtheorie, Allgemeines
3.0.1 Meßsignale
3.0.2 Meßsysteme/-sensoren
3.0.3 Meßfehler

vorgenommen. Durch Zusätze bei Untertiteln wurden Begriffe, wie ASU, Roboter und ähnliche Neuentwicklungen, eingegliedert. Die Schwierigkeiten, ein Klassifikationssystem aktuell zu halten, sind bekannt, sie können wahrscheinlich immer nur mit einem Kompromiß gelöst werden. Die jahrelange intensive Nutzung des Buchbestandes von Wissenschaftlern der Grundlagenforschung hat jedoch eindeutig bewiesen, daß durch diese sachliche Gliederung der Wert für die Forschungsarbeit wesentlich erhöht ist. Es bleibt zu erwähnen, daß die Sachkatalogisierung des Gebietes Automatisierungstechnik auch an der Bibliothek der TU Dresden nach dem IFAC-Schlüssel erfolgt. Im Rahmen einer Buchausstellung zum 1. Kolloquium Automatisierungstechnik der TU Dresden 1980 wurde dies in einer grafischen Darstellung veranschaulicht und damit die enge fachliche Zusammenarbeit beider Bibliotheken deutlich gemacht [10].

Zusammenfassung

Abschließend muß gesagt werden, daß die IFAC-Klassifikation international keine solche Verbreitung erfahren hat, wie es sich die Initiatoren der Gründungsjahre der IFAC erhofften. Ob 25 Jahre eine genügend lange Zeit sind, Urteile zu fällen, müßten Vergleiche mit anderen Systemen, beispielsweise der DK, ergeben. Für die Leser der „msr" darf es gleichzeitig als ein Rückblick auf das Entstehen der noch heute verwendeten IA-Nummer bei jedem Fachartikel betrachtet werden.

Literatur

[1] United Nations Educational Scientific and Cultural Organization List of Books on Automatic Control (in Engl. und Russ.). (1960) May 15, pp. 1–8.
[2] IFAC — Technical Commitee on Bibliography. IFAC Information Bulletin (1960) No. 8, p. 29.
[3] dto. pp. 74–76.
[4] *Broida, V.:* Tentative Classification for the Bibliography of Automatic Control Reprint from IFAC Information Bulletin (1961) No. 11, pp. 37–52.
[5] Zeitschriftenschau (bearb .von der VDI/VDE-Fachgruppe Regelungstechnik). Literaturklassifikation der IFAC. Regelungstechnik 9 (1961) H. 11, S. Z 41–44.
[6] Classification générale de la bibliographie de la commande automatique Professor Victor Broida. Mesures et Contrôle Industriel (1961) No. 295, pp. 1431–1436.
[7] Literaturklassifikation der IFAC zur Kartei der in der Technischen Information des VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, Zentraler Anlagenbau der BMSR-Technik, erschienenen Artikel. VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow.
[8] *Senf, B.:* Einige Bemerkungen zur Einführung der von der IFAC ausgearbeiteten Literaturklassifikation. msr 7 (1964) H. 1, S. 29–32.
[9] Technisches Zentralblatt, Abteilung Elektrotechnik. Das System — Stand vom 1. Januar 1964, S. 18–20 und 22; dto., Abteilung Maschinenwesen. Stand vom 1. Januar 1968, S. 5–6 und 24.
[10] Ausstellung anläßlich des 1. Kolloquiums Automatisierungstechnik. Mitteilungen aus dem wiss. Bibliothekswesen (1980) S. 63 und 64.
[11] *Reinisch, K.:* Dokumentation über Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik und Nachrichtenverarbeitung (Automatisierungstechnik). msr 3 (1960) H. 8, S. 370–374.

msr 7654

Dr.-Ing. *M. Zecha*, Berlin[1])

Steuerung von Gelenkmanipulatoren nach visuellen Erkennungsdaten

IA 5.6.2

0. Einleitung

Der Einsatz von Robotern mit einer äußeren Sensorik zur Anpassung an sich ändernde Parameter der Arbeitsaufgabe resultiert im wesentlichen aus drei Forderungen:

1. Erschließung neuer Einsatzfälle, bei denen die für den Einsatz von Robotern der 1. Generation notwendige fixierte Ordnung im Arbeitsraum aus technologischen Gründen nicht eingehalten werden kann.
2. Verringerung des mechanischen Aufwandes in der Roboterperipherie durch verminderte Genauigkeitsforderungen.
3. Erhöhung der Flexibilität durch Verkürzung von Umrüstzeiten und Vereinfachung des Programmiervorgangs.

Diesen möglichen Vorteilen stehen jedoch Forderungen an die Steuerungstechnik gegenüber, die wesentlich höher sind als bei bisher eingesetzten Systemen. Um die erforderliche Flexibilität zu erhalten, sind an einen einzelnen Einsatzfall durch hohen Vorbereitungsaufwand angepaßte Einzellösungen zu vermeiden. Es sind für möglichst breite Aufgabenklassen Verfahren und Standardmoduln zur Verfügung zu stellen, die leicht an Einzelaufgaben anpaßbar und durch das Einrichtungspersonal beherrschbar sind.
Im Beitrag wird ein Konzept entwickelt, wie visuelle Erkennungsdaten effektiv zur Steuerung von Gelenkrobotern genutzt werden können. Die Umsetzung der in natürlichen Koordinaten vorliegenden Erkennungsdaten, die Beschreibung der Greiferstellung und die Berücksichtigung von Beschränkungen des Arbeitsraumes erfolgen durch Transformation homogener Koordinaten und sind an unterschiedliche kinematische Strukturen anpaßbar.

1. Aufgabenstellung

Der technische Entwicklungsstand visueller Erkennungssysteme läßt gegenwärtig die ökonomische Lösung folgender Aufgabenklassen zu:

— Ermittlung von Position und Orientierung von Werkstücken (z. B. Schwerpunktkoordinaten, Trägheitsachsen usw.)

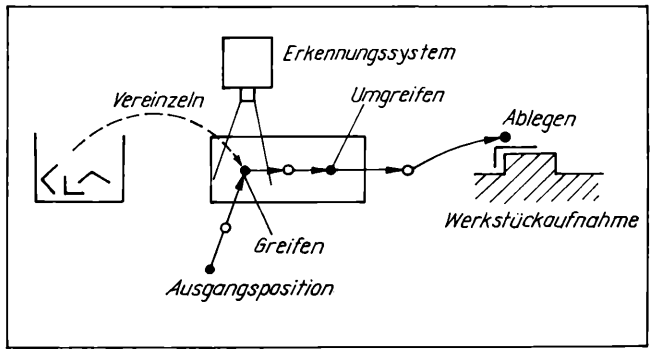


Bild 1. Arbeitsfolge beim Greifen undefiniert abgelegter Werkstücke

— Klassifizierung von Werkstücken
— Ermittlung von Fehlern zur Qualitätskontrolle (Formabweichungen, Oberflächenfehler).

Haben die Werkstücke eine endliche Anzahl stabiler Lagen, so sind diese Aufgaben für ein breites Einsatzspektrum bereits mit einer 2D-Erkennung lösbar [1]. Technisch unbefriedigend gelöst ist derzeit noch die Erkennung von sich teilweise überdeckenden Teilen. Die Steuerung eines Roboters nach visuell ermittelten Daten soll an einem Beispiel erläutert werden, in dem aus einer zunächst ungeordneten Werkstückfolge mit undefinierter Ablage eine für die weitere Bearbeitung notwendige feste Werkstückordnung hergestellt wird. Diese für viele praktische Einsatzfälle relevante Aufgabe wird in folgende Arbeitsschritte zerlegt:

1. Vereinzelung der Werkstücke mit Hilfe mechanischer Vorrichtungen oder durch spezielle Magnet- oder Vakuumgreifer [2]
2. Visuelle Ermittlung von Position und Orientierung des Werkstücks auf einer Ablagefläche bzw. auf einem Fließband
3. Greifen entsprechend ermittelter Parameter
4. Positionierung des Werkstücks auf Palette, Maschine usw.

Bild 1 zeigt ein typisches Layout, die ausgefüllten Kreise bezeichnen feste Positionen, die durch den Effektor des Manipulators eingenommen werden müssen. Nach dem Vereinzeln und der Bestimmung von Ort und Lage des Werkstücks wird dieses in einer vorher zu ermittelnden Orientierung des Greifers zum Werkstück vom Manipulator gegriffen. Eignet sich diese Greiflage zum Positionieren, kann das Werkstück zur Aufnahme transportiert werden, andernfalls ist ein Umgreifen erforderlich.

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse.

Die nicht ausgefüllten Kreise bezeichnen Einschränkungen der Greifer- und Werkstückpositionen während des Handhabeprozesses, die durch den Arbeitsraum und die Werkstückabmessungen in der jeweiligen Greiflage definiert sind. Weitere Einschränkungen sind möglich, wenn das Werkstück nur auf einer definierten Raumkurve gegriffen oder der Aufnahme zugeführt werden kann. Im folgenden sollen die Elementaroperationen analysiert werden, die durch den Steuerrechner des Manipulators zu realisieren sind. Dabei ist zwischen Operationen zu unterscheiden, die während des Teach-in Prozesses (Belehrungsphase) definiert werden müssen, und solchen, die durch die Parameter des Erkennungsvorganges spezifiziert werden und bei jedem Bewegungszyklus neu berechnet werden müssen.

Durch das Erkennungssystem werden nach erfolgter Justierung und Belehrung [3] die Lage des Werkstückes, z. B. als Koordinaten des Schwerpunktes (r_x, r_y, r_z), und die Orientierung, z. B. durch die Richtung der Trägheitsmomentachsen, geliefert. Diese spannen ein werkstückeigenes Koordinatensystem auf, in dem die möglichen Greifpositionen festgelegt werden müssen (Bild 2). Lage und Orientierung des Greifers bilden ein Koordinatensystem (x_g, y_g, z_g), dessen Lage und Orientierung durch die Gelenkwinkel $\varphi_1, \ldots, \varphi_n$ definiert sind (Bild 3). Die Winkel $\varphi_1, \ldots, \varphi_n$ beschreiben ein roboterspezifisches Koordinatensystem, in dem die Winkeländerungen zum Erreichen der Greifpositionen zu berechnen sind — dieses inverse kinematische Problem ist als sog. Koordinatentransformation für zahlreiche Gelenkroboter gelöst. Jedes Manipulatorgelenk kann aber wieder als Ursprung eines neuen Koordinatensystems angesehen werden, dessen Relationen zum vorhergehenden durch den Abstand d_n und den Gelenkwinkel φ_n definiert sind (liegen die Gelenkachsen nicht in einer Ebene oder orthogonal zueinander, sind zwei weitere Parameter zu berücksichtigen [4]). Es ist also im Prinzip möglich, sämtliche Bewegungen und Relativpositionen durch Manipulationen der Koordinatensysteme zu beschreiben.

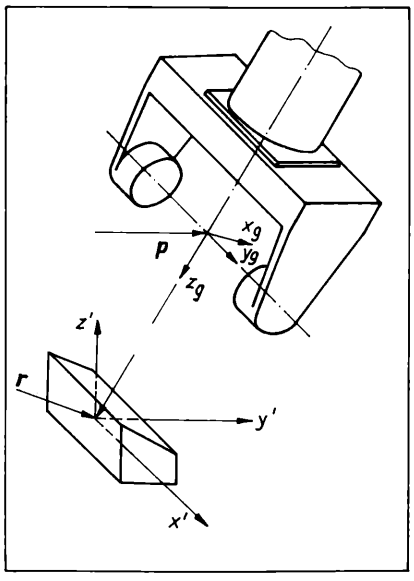


Bild 2. Greifer- und Werkstückkoordinaten ◀

Bild 3. Basiskoordinaten und roboterspezifische Koordinaten

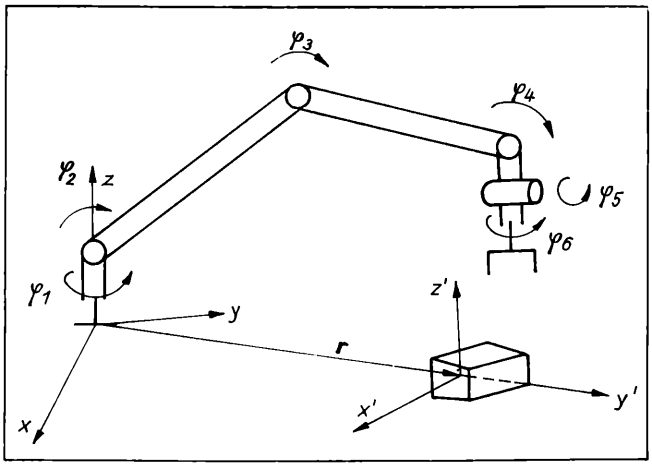
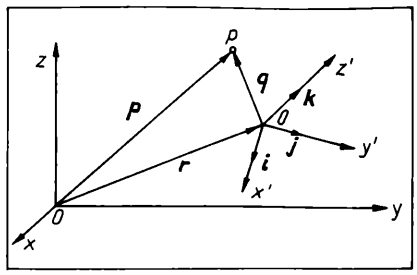


Bild 4. Zur Ableitung homogener Koordinaten



2. Transformation homogener Koordinaten

Die Beschreibung eines unbewegten Koordinatensystems in einem anderen, ebenfalls ruhenden System, erfordert im allgemeinen Fall die Kenntnis von 6 Parametern, der Verschiebung des Koordinatenursprungs $r = (r_x, r_y, r_z)$ und der Orientierungswinkel (Φ, Θ, Ψ). Diese Winkel können je nach Reihenfolge der durchgeführten Rotationen unterschiedlich definiert werden. Wenn Φ den Winkel beschreibt, um den das gestrichene System um die z-Achse gedreht werden muß, damit die Achsen x und x' in einer Ebene liegen, entsprechend Θ um y und Ψ um x, so gilt für die Transformation der Orientierung:

$$\boldsymbol{T}_w(\Phi, \Theta, \Psi) = \mathrm{Rot}\,(z, \Phi) \times \mathrm{Rot}\,(y, \Theta) \times \mathrm{Rot}\,(x, \Psi) =$$

$$= \begin{pmatrix} c\Phi c\Theta & c\Phi s\Theta s\Psi - s\Phi c\Psi & c\Phi s\Theta c\Psi + s\Phi s\Psi \\ s\Phi c\Theta & s\Phi s\Theta s\Psi + c\Phi c\Psi & s\Phi s\Theta\Psi - c\Phi s\Psi \\ -s\Theta & c\Theta s\Psi & c\Theta c\Psi \end{pmatrix} \quad (1)$$

($c \triangleq \cos$; $s \triangleq \sin$)

Multiplikation eines Vektors $\boldsymbol{q}$ im gestrichenen System mit der Matrix (1) ergibt die Komponenten dieses Vektors im Koordinatensystem mit Ursprung 0', aber achsparallel zum ungestrichenen. Werden die Winkel als Euler-Winkel definiert, erhält man nach [5] die Elemente der Matrizen und Komponenten der Einheitsvektoren des gestrichenen Koordinatensystems im Basissystem (Bild 4):

$$\boldsymbol{T}_{eu}(\Phi_e, \Theta_e, \Psi_e) = \mathrm{Rot}\,(z, \Phi_e) \times \mathrm{Rot}\,(y, \Theta_e) + \mathrm{Rot}\,(z, \Psi_e) =$$

$$= \begin{pmatrix} c\Phi_e c\Theta_e c\Psi_e - s\Phi_e s\Psi_e & -c\Phi_e c\Theta_e s\Psi_e - s\Phi_e c\Psi_e & c\Phi_e s\Theta_e \\ s\Phi_e c\Theta_e c\Psi_e + c\Phi_e s\Psi_e & -s\Phi_e c\Theta_e s\Psi_e + s\Phi_e c\Psi_c & s\Phi_e s\Theta_e \\ -s\Theta_e c\Psi_e & s\Theta_e s\Psi_e & c\Theta_e \end{pmatrix} \quad (2)$$

($c \triangleq \cos$; $s \triangleq \sin$)

Damit läßt sich ein Punkt P, der im gestrichenen System durch den Vektor $\boldsymbol{q}$ dargestellt werden kann, im Basissystem schreiben als

$$\boldsymbol{p} = \boldsymbol{r} + \boldsymbol{T}_w(\Phi, \Theta, \Psi) \cdot \boldsymbol{q}\,. \quad (3)$$

Durch Addition des Vektors $\boldsymbol{r}$ zur Winkeltransformation und Auffüllen der Matrix erhält man damit die homogene Transformation

$$\begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & & & r_x \\ & \boldsymbol{T}_w & & r_y \\ & & & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} q_{x'} \\ q_{y'} \\ q_{z'} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{p} = \boldsymbol{A} \times \boldsymbol{q}\,.$$

$\boldsymbol{T}_w$ kann auch durch die Euler-Transformation Gl. (2) ersetzt werden.

3. Koordinatentransformation für 6-Achsen-Gelenkmanipulator

Unter Benutzung der homogenen Transformationen kann das inverse kinematische Problem der Koordinatentransformation für beliebige kinematische Strukturen effektiv gelöst werden. Im weiteren wird ein 6-Achsen-Gelenkmanipulator zugrunde gelegt, wobei 3 Achsen für die Positionierung und 3 Achsen für die Orientierung des Greifersystems benutzt werden, um eindeutige Transformationsbeziehungen zu erhalten. Der Koordinatenursprung des Gelenkes n sei im Koordinatensystem des Gelenkes $(n-1)$ durch die homogene Transformation $\boldsymbol{A}_n$ gegeben. Für die Gelenkanordnung nach Bild 5 ergibt sich beispielsweise aus Gl. (4)

$$\boldsymbol{A}_n = \begin{pmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta & 0 & a\cos\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta & 0 & a\sin\Theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}_{\Theta=\varphi_n} \tag{5}$$

Die vollständige Koordinatentransformation ist das Produkt aller Gelenkmatrizen

$$\boldsymbol{M}_6 = \boldsymbol{A}_1 \times \boldsymbol{A}_2 \times \boldsymbol{A}_3 \times \boldsymbol{A}_4 \times \boldsymbol{A}_5 \times \boldsymbol{A}_6 . \tag{6}$$

$\boldsymbol{M}_6$ beschreibt den Punkt, der durch den Ursprung des letzten Manipulatorgelenkes im Raum eingenommen wird, in kartesischen Koordinaten. Dieser Punkt ist durch die Arbeitsaufgabe fixiert. Es sind aus Gl. (6) die Winkel φ_n zu ermitteln, um die die Gelenke rotieren müssen, um $\boldsymbol{M}_6$ zu erhalten, d. h., die $\boldsymbol{A}_n$ sind zu bestimmen.

Dies erfolgt sukzessive durch Multiplikation mit inversen $\boldsymbol{A}$-Matrizen [5]

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{A}_1^{-1} \times \boldsymbol{M}_6 &= \boldsymbol{A}_2 \times \boldsymbol{A}_3 \times \boldsymbol{A}_4 \times \boldsymbol{A}_5 \times \boldsymbol{A}_6 \\ \boldsymbol{A}_2^{-1} \times \boldsymbol{A}_1^{-1} \times \boldsymbol{M}_6 &= \boldsymbol{A}_3 \times \boldsymbol{A}_4 \times \boldsymbol{A}_5 \times \boldsymbol{A}_6 \\ &\vdots \\ \boldsymbol{A}_5^{-1} \times \boldsymbol{A}_4^{-1} \times \boldsymbol{A}_3^{-1} \times \boldsymbol{A}_2^{-1} \times \boldsymbol{M}_6 &= \boldsymbol{A}_6 . \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

Jedes der Gleichungssysteme (7) erfordert gemäß Gl. (4) die Lösung von 12 Gleichungen. Hierzu ist im allgemeinen Fall die vollständige Kenntnis der Matrix $\boldsymbol{M}_6$ notwendig, d. h. die Kenntnis der Position und Orientierung des Greifersystems. Für einen Manipulator nach Bild 2 ergeben sich für die vollständige Bestimmung aller 6 Winkel durch Auswertung der Gln. (7):

13 Berechnungen von Winkelfunktionen,
27 Multiplikationen,
20 Additionen.

Da nur ein Freiheitsgrad je Gelenk vorliegt, sind hier die Transformationen $\boldsymbol{T}_w$ und $\boldsymbol{T}_{eu}$ identisch.

Die Manipulationen mit den Winkelfunktionen und die Lage der Achsen z_2, z_3, z_4 in einer Ebene erfordern bei der Berechnung besondere Beachtung.

4. Bewegung in werkstückspezifischen Koordinaten

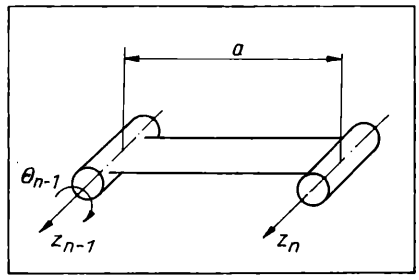
Position und Orientierung des Greifers sind im Basissystem durch die Beziehung

$$\boldsymbol{G} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & r_x \\ 0 & 1 & 0 & r_y \\ 0 & 0 & 1 & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{Orientierungs-} \\ \text{matrix} \\ \text{(1) oder (2)} \end{pmatrix}$$

gegeben. Die Matrixelemente lassen sich aus den visuellen Erkennungsdaten ermitteln, wenn das Kamerasystem im Basissystem justiert ist.

Bezüglich der roboterspezifischen Koordinaten gilt $\boldsymbol{G}=\boldsymbol{M}_6\times\boldsymbol{K}$, wobei $\boldsymbol{K}$ eine konstante Transformation ist, die die Beziehungen

Bild 5. Gelenkkoordinaten für ein Drehgelenk



zwischen dem letzten Manipulatorgelenk und dem Ursprung des Greifersystems beschreibt und die sich nur bei Greifer- bzw. Werkzeugwechsel ändert. Sind die Werkstückdaten (z. B. Greifpunkte) als Vielfache der Einheitsvektoren $\boldsymbol{i}'$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}'$, die durch den Effektor einzunehmen sind, im Basissystem bestimmt, erhält man die Elemente der Matrix $\boldsymbol{M}_6$ für die im Bild 3 dargestellte Konfiguration $\Theta_1, \ldots, \Theta_6$. Die Lösungen sind nicht trivial, sie wurden so gestaltet, daß eine minimale Anzahl von Aufrufen transzendenter Funktionen erforderlich ist. Für die Berücksichtigung von Beschränkungen des Arbeitsraumes während der Bewegung ist die Berechnung der Matrix $\boldsymbol{G}' = \boldsymbol{M}_6 \times \boldsymbol{K} \times \boldsymbol{W}$ erforderlich. $\boldsymbol{W}$ enthält die Abmessungen des Werkstücks mit dem Koordinatenursprung des Greifersystems. Dieses Unterprogramm enthält die Berechnung von 12 Winkelfunktionen und 32 Multiplikationen.

Hiermit lassen sich die aus den maximalen Werkstückabmessungen resultierenden Bahnpunkte berechnen und mit gespeicherten Restriktionen vergleichen. Zur Verminderung des Rechenaufwandes bzw. zur Erhöhung der Rechengenauigkeit ist es sinnvoll, den Teach-in-Prozeß für den Greifvorgang in einem Referenzkoordinatensystem auf der Ablagefläche vorzunehmen, das in Basiskoordinaten zu justieren ist. In diesem Referenzsystem wird die Greifposition bzw. Greifkurve „geteacht" und abgespeichert. Die aktuellen Werte aus dem Erkennungsvorgang müssen dann nur noch als Abweichungen zu den gespeicherten Daten errechnet werden. Da die Ablage auf einer ebenen Fläche erfolgt, ergeben sich bei einer endlichen Anzahl stabiler Lagen des Werkstücks Rechenvorteile, d. h., ein großer Teil der Matrixelemente wird Null bzw. bleibt konstant.

Durch zusätzliche Multiplikation mit Transformationsmatrizen ist die Umrechnung in bewegte, zylindrische oder sphärische Bezugssysteme möglich.

Zusammenfassung

Die Umsetzung von Meßdaten aus der äußeren Sensorik in angepaßte Bewegungen der kinematischen Struktur eines Gelenkroboters erfordert aufwendige Koordinatentransformationen unterschiedlicher Form. Das Konzept der Transformation homogener Koordinaten gestattet einfache Modifizierung und Manipulation von Bahnkurven, Berücksichtigung von Beschränkungen des Arbeitsraumes, indem die zu manipulierenden Gegenstände als Verlängerung der Gelenkstruktur betrachtet werden, sowie Umrechnungen in arbeitsplatzspezifische Koordinatensysteme.

Literatur

[1] *Fimmel, B.*, u. a.: A Vision System for Real Time Handling and Recognition of Industrial Parts. Intern. Conf. Artificial Intelligence and Information of Robots. Smolenice (ČSSR) 1980.

[2] *Kelley, K.*: Workpiece Transportation by Robots Using Vision. Robots II Conf., USA 1977.

[3] *Warnecke, H.-J.; Schraft, R. D.*: Industrieroboter. Mainz: Krausskopf-Verlag 1979.

[4] *Denavit, J.*: A Kinematic Notation for Lower — Pair Mechanisms Based on Matrices. ASME Journal of Applied Mechanics (1955) p. 215.

[5] *Paul, R.*: Modelling, Trajectory Calculation and Servoing of a Computer Controlled Arm. Memo AIM-177, Stanford University 1972.

msr 7658

Dr.-Ing. *R. Engel*, Teltow[1])

Frequenzanaloge Systemkomponenten als Bestandteil moderner Automatisierungskonzepte auf Mikrorechnerbasis

IA 4.0.5.; 4.2.

0. Einleitung

Der umfassende Einsatz der Mikrorechentechnik in der komplexen Prozeßautomatisierung ermöglicht die Realisierung neuartiger Automatisierungskonzepte mit dezentralisierter Informationsverarbeitungsstruktur. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Verarbeitungseinrichtungen bzw. zu übergeordneten Führungs- und Verarbeitungssystemen erfolgt über digitale Bussysteme. Die Bemühungen, die prozeßnahe Peripherie und dabei insbesondere die Meßwertgeber generell in derartige Bussysteme direkt einzubeziehen, scheitern bislang an der Tatsache, daß eine direkte digitale Kodierung z. Z. nur bei den Größen Weg und Winkel möglich ist. Darüber hinaus sind zur digitalen Signalübertragung im gestörten prozeßnahen Anlagenbereich spezielle Datensicherungsmaßnahmen erforderlich.
Eine technisch und wirtschaftlich günstige Alternative für die Übertragung geringer bis mittlerer Informationsmengen stellt der Einsatz von Prozeßinstrumentierungssystemen mit frequenzanaloger Signalübertragung dar.
Derartige Systemkomponenten weisen folgende Charakteristika auf:

- hohe Meßauflösung und geringer Meßfehler der Meßwandler mit Frequenzanalogausgang
- weitgehend störsichere Signalübertragung auf ungeschirmten Zweidrahtleitungen
- Nutzung nachrichtentechnischer Übertragungseinrichtungen, z. B. optischer Übertragungsstrecken
- relativ einfache Digitalisierung frequenzanaloger Abbildsignale durch Zählschaltungen; diese integrierende Umsetzung bewirkt eine zusätzliche Störunterdrückung
- Vereinfachung der Gerätetechnik: Potentialtrenner, Signalmultiplexer
- Erweiterung der Informationsverarbeitungsmöglichkeiten im Abbildbereich: Radizierung im Meßwandler, Langzeitintegration, Mittelwertbildung, Verhältnismessung u. a.

Eine entscheidende Voraussetzung für die universelle Nutzung frequenzanaloger Einrichtungen in der Prozeßautomatisierung stellt in erster Linie die Bereitstellung eines entsprechenden Gerätesortiments geberseitiger Meßwandler mit standardisiertem Frequenzanalogausgang dar. Im folgenden soll gezeigt werden, in welcher Weise frequenzanaloge periphere Einrichtungen in moderne Automatisierungskonzepte einbezogen werden und welche gerätetechnischen Lösungen zur Anwendung kommen können.

1. Prinzipieller Aufbau von Prozeßinstrumentierungssystemen mit frequenzanalogen Systemkomponenten

Anhand des im Bild 1 dargestellten Realisierungsbeispiels eines Prozeßinstrumentierungssystems mit frequenzanalogen Komponenten soll die Vielfalt der im Prinzip möglichen Teillösungen demonstriert werden.
Die frequenzanaloge Meßwertgewinnung erfolgt (falls die Frequenz oder die Drehzahl nicht selbst als Prozeßgrößen auftreten) durch entsprechende Meßwandler mit direkter Signalwandlung bzw. durch Spannungs- oder Strom-Frequenz-Wandler (s. Abschn. 4.).

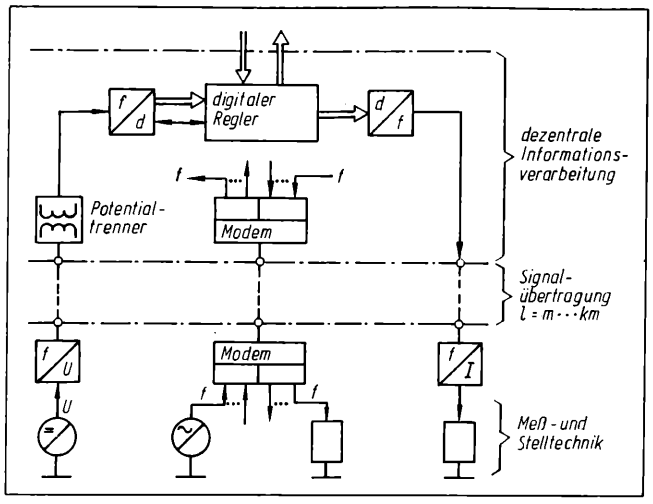


Bild 1. Automatisierungseinrichtung mit frequenzanaloger Prozeßinstrumentierung

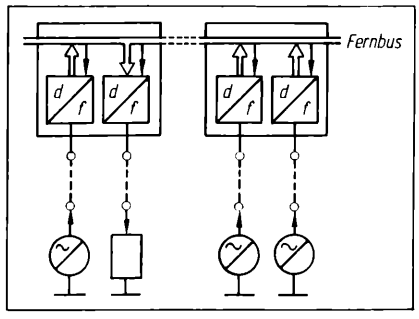


Bild 2. Bussystem mit frequenzanaloger Signalübertragung im prozeßnahen Bereich

Die daran anschließende Meßwertübertragung kann aufgrund der Störfestigkeit frequenzanaloger Signale [1] und [2] auch unter Störeinwirkung des technologischen Prozesses auf ungeschirmten Zweidrahtleitungen erfolgen. Gleiches gilt für die Übertragung der Stellsignale. Möglich ist auch die Mehrfachausnutzung eines Übertragungskanals durch den Einsatz entsprechender Modems. Falls erforderlich, kann eine elektrische Potentialtrennung im Vergleich zur amplitudenanalogen Signalübertragung auf relativ einfache Art und Weise mit Übertrager oder Optokoppler realisiert werden.
Die Ansteuerung der entsprechenden Stelleinrichtungen ist mit Frequenz-Strom-Wandler indirekt und durch modifizierte Servostellantriebe mit Frequenzregelkreis [3] direkt möglich. An die Einrichtungen der digitalen Informationsverarbeitung (digitale Einzel- und Mehrkanalregler) erfolgt die eingangs- und ausgangsseitige Ankopplung über entsprechende universelle Frequenz-Digital- bzw. Digital-Frequenz-Wandler (s. Abschn. 3.).
Für ausgedehnte Automatisierungsanlagen mit einer großen Anzahl von Meß- und Stelleinrichtungen stellt die hybride, frequenzanalog-digitale Struktur eine vorteilhafte Variante dar. Dadurch werden sowohl die Vorzüge einer frequenzanalogen Instrumentierung als auch die Rechnerkompatibilität und die hohe Übertragungsgeschwindigkeit digitaler Bus-Übertragungssysteme genutzt. Die entscheidenden Signalschnittstellen solcher busorientierter Prozeßführungssysteme unterschiedlicher Gesamtstruktur stellen die entsprechenden Busanschlußsteuerungen dar, die neben den Steuerfunktionen die Frequenz-Digital- bzw. Digital-Frequenz-Wandler beinhalten (Bild 2).

[1]) Mitteilung aus dem VEB GRW Teltow.

Tafel. Geräte und Funktionseinheiten für eine frequenzanaloge Prozeßinstrumentierung mit standardisierten Einheitssignalen

1. Meßwandler (s. Abschn. 5.)

- Spannungs-Frequenz-Wandler (bereits als Modulbausteine verfügbar [7])
- widerstandsgesteuerte RC-Oszillatoren

2. Signalwandler

— Frequenz-Digital-Wandler:	elektronische Zählschaltungen, CTC-Schaltkreise
— Digital-Frequenz-Wandler:	modifizierter Phasenregelkreis [8], s. Bild 3
— Frequenz-Spannungs-Wandler:	Prinzip der Integration konstanter Spannungs-Zeit-Flächen (als Modulbaustein verfügbar [7])

3. Stelleinrichtungen mit frequenzanalogen Eingangssignalen

- Schrittmotore
- Servostellantriebe mit frequenzanaloger Signalrückführung nach dem PLL-Prinzip (Bild 4)
- Frequenz-Einheitsdruck-Wandler [11] zur Ansteuerung pneumatischer Stellantriebe (Wirkungsprinzip ebenfalls Bild 4)

4. Zusatzgeräte

- Frequenzkomparatoren mit und ohne Totzone [11] für Stell- und Positionieraufgaben o. ä.
- Potentialtrenner
- Speisegeräte für Meßwandler

2. Probleme der Kompatibilität, Unifizierung und Standardisierung

Vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus betrachtet können die Vorteile der frequenzanalogen Prozeßinstrumentierung erst dann voll zum Tragen kommen, wenn der größte Teil der z. Z. verwendeten konventionellen Meßwertgeber auch mit frequenzanalogen Meßwandlern kompatibel ist. Die Kompatibilität zu digitalen Informationsverarbeitungseinrichtungen ist durch die Auswertung der Signalfrequenz bzw. -periodendauer mittels Zählschaltungen stets gewährleistet, d. h., durch die frequenzanaloge Meßwertabbildung wird bereits der entscheidende Schritt der Analog-Digital-Umsetzung vollzogen.

Die qualitätsbestimmenden Charakteristika frequenzanaloger Meßwertübertragungseinrichtungen, wie Meßwertauflösung, störmindernde Wirkung sowie auswertbare Meßgrößendynamik, werden im wesentlichen durch den Abbildbereich der Frequenz oder der Periodendauer festgelegt [4].

Um eine universelle Schnittstelle zwischen den Geräten der Informationsgewinnung und der Informationsverarbeitung realisieren zu können, macht es sich, ähnlich wie bei den amplitudenanalogen Einrichtungen, erforderlich, eine Standardisierung bezüglich des Abbildbereiches vorzunehmen. Unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen:

- Meßfehler ($\delta = 1‰$)
- Meßgrößendynamik (in Abhängigkeit vom technologischen Prozeß $f_M = 1 \ldots 50$ Hz)
- Störspektrum im Übertragungskanal
- maximale Übertragungsentfernung
- Standards [5]

wurden folgende 2 Abbildbereiche der Informationsparameter Frequenz und Periodendauer als günstiger Kompromiß ermittelt [6]:

a) bei starken Störungen und hoher Meßgrößendynamik

$f = 4$ kHz ... 8 kHz bzw. $T = 125$ µs ... 250 µs

b) bei relativ niedriger Meßgrößendynamik

$f = 1$ kHz ... 2 kHz bzw. $T = 0{,}5$ ms ... 1 ms .

Die Beschränkung auf diese 2 Abbildbereiche — obwohl dem Anwender durch den entsprechenden Standard [5] weitere Bereiche zugestanden werden — trägt dazu bei, das für eine frequenzanaloge Prozeßinstrumentierung erforderliche Gerätesortiment in ökonomisch vertretbarem Umfang zu gestalten. Unter diesem Gesichtspunkt muß darauf hingewiesen werden, daß der zweite Abbildbereich den Vorteil der Systemkompatibilität mit dem Fernsprechkanal aufweist, so daß auch nachrichtentechnische Einrichtungen, z. B. optische Übertragungsstrecken, zur Meßwertübertragung genutzt werden können.

Die Festlegung der Signalamplitude ist von sekundärer Bedeutung; es sollten entsprechend [6] in Abhängigkeit vom Störpegel im Übertragungskanal Werte $\hat{u}_A \leqq 10$ V vorgesehen werden.

3. Notwendiges Gerätesortiment zur Realisierung frequenzanaloger Prozeßinstrumentierungssysteme

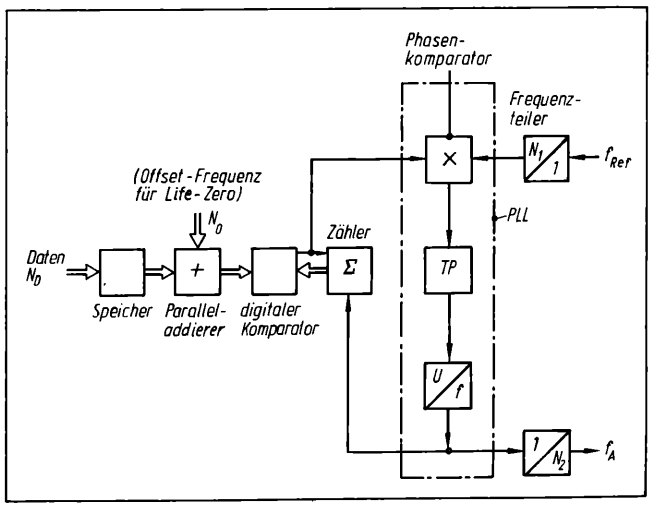
In der Tafel sind die Geräte und Funktionseinheiten aufgeführt, die zum Aufbau von Prozeßinstrumentierungssystemen mit frequenzanaloger Signalübertragung entsprechend Bild 1 bzw. Bild 2 benötigt werden. Diese Komponenten lassen sich im wesentlichen aus analogen und digitalen Standardschaltkreisen oder Modulbausteinen aufbauen. Die Frequenz-Digital-Wandler sind als sogenannte CTC-Schaltkreise Bestandteil verschiedener Mikroprozessorsysteme. Erweist sich jedoch in speziellen Einzelfällen bei hoher Meßgrößendynamik die Frequenzzählmessung als zu langsam, so empfiehlt sich die Auswertung einer oder mehrerer Perioden des Abbildsignals [6] bzw. der Einsatz spezieller dynamisch schneller Frequenzmeßverfahren auf der Basis digitaler Filter [12].

Im Fall der elektrischen Servostellantriebe können funktionsbestimmende Wirkungsprinzipien und die Leistungsstellelektronik im wesentlichen beibehalten werden, lediglich bezüglich der frequenzanalogen Signalrückführung und des Vergleichs mit dem ankommenden Stellsignal müssen entsprechende schaltungstechnische Modifikationen gemäß Bild 4 vorgenommen werden. Gleiches gilt auch für die Frequenz-Einheitsdruck-Wandler zur Ansteuerung pneumatischer Stellantriebe.

4. Meßwandler mit standardisiertem Frequenzanalogausgang

Aufgrund der ökonomischen, fertigungstechnischen und anwendungsspezifischen Vorteile mikroelektronischer Bauelemente sollte bei der Auswahl geeigneter Wandlungsprinzipien für die

Bild 3. Digital-Frequenz-Wandler nach dem PLL-Prinzip [8]



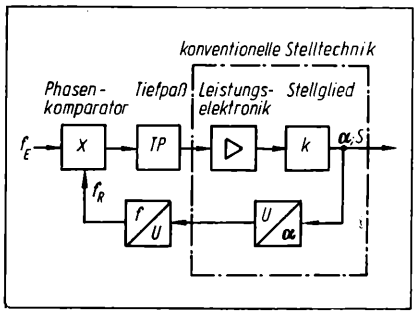


Bild 4. Stelleinrichtung mit Frequenzanalogeingang und Frequenzrückführung (verallgemeinertes PLL-Prinzip)

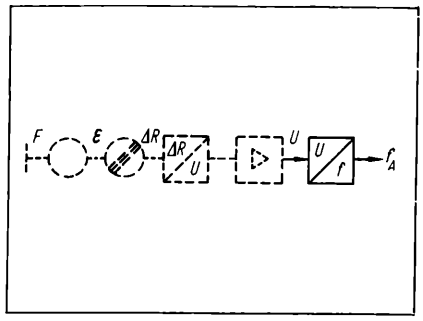


Bild 5. Indirektes elektrisches Wandlungsverfahren mit Frequenzanalogausgang

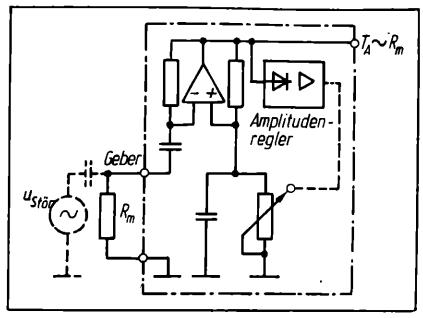


Bild 6. Beispiel eines Widerstands-Periodendauer-Wandlers (Amplitudenregelung dient der Kennlinienlinearisierung) und Modell der Störeinkopplung

verschiedensten elektrischen und nichtelektrischen Meßgrößen auf solche Lösungen orientiert werden, bei denen der Anteil mechanischer Komponenten und deren qualitätsbestimmende Einflußnahme in der Wandlerkette möglichst gering ist. Außerdem besteht aufgrund der spezifischen Eigenfrequenz und der meist vorliegenden nichtlinearen Wandlungscharakteristik derartiger Meßwertaufnehmer (Saitendehnungsgeber, Schwingquarz u. ä.) in den wenigsten Fällen die Möglichkeit, diese direkt ohne zusätzliche Signalwandler in Systeme mit standardisiertem Einheitssignal einzubeziehen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wurde darüber hinaus bereits im Abschn. 4. die Forderung erhoben, daß die frequenzanalogen Meßwandler zu den bekannten konventionellen Gebern amplitudenanaloger Instrumentierungssysteme kompatibel sind.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Gesichtspunkte sollten als geberseitige Wandler mit Frequenzanalogausgang vorzugsweise indirekte und direkte elektrische Wandlungsverfahren zur Anwendung kommen [10].

Bei den indirekten elektrischen Wandlungsverfahren wird zuerst ein elektrisches Zwischenabbildsignal (Strom oder Spannung) erzeugt, das anschließend über Strom- bzw. Spannungs-Frequenz-Wandler in ein Frequenzanalogsignal konvertiert wird (Bild 5). Hierfür eignen sich im besonderen Maße Relaxationsoszillatoren nach dem sogenannten Charge-balancing-Verfahren, die bereits von verschiedenen Herstellern als Modulbausteine angeboten werden (z. B. [7]). Die auftretenden Abbildfehler werden im wesentlichen durch den analogen, vor dem Wandler angeordneten Schaltungsteil bestimmt. Bei dieser Art der Signalwandlung ist die Störunterdrückung allein auf die Signalübertragung beschränkt.

Im Gegensatz dazu ist bei den direkten elektrischen Wandlungsverfahren der Meßwertgeber, z. B. ein Widerstandsthermometer, direkter Bestandteil des frequenzbestimmenden Netzwerkes eines RC-Oszillators und steuert die Abbildfrequenz bzw. -periodendauer unmittelbar [9] (Bild 6). Zur Linearisierung der Widerstands-Periodendauer-Charakteristik dient bei diesem RC-Oszillator die Amplitudenregeleinrichtung. Da durch diese Art des Regeleingriffs jeweils die zweite gleichartige Netzwerkkomponente dem Meßwertgeber nachgeführt wird, erzielt man hiermit eine exakte (Linearitätsfehler $\delta_{Lin} < 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ [9]) und stabile Kennlinienlinearisierung. Dieses Regelungsprinzip auf einen Allpaß-Oszillator angewandt und durch eine Kompensationsregelkreisanordnung erweitert, ermöglicht eine wesentliche Empfindlichkeitserhöhung (bis 1:1000), so daß auch Meßbrücken mit Foliendehnungsmeßstreifen u. ä. als Meßwertaufnehmer berücksichtigt werden können [10].

Die Tatsache, daß sich die am häufigsten in technologischen Prozessen vorkommenden Prozeßgrößen, wie Temperatur, Druck, Kraft, Moment, Weg und Winkel mit Widerstandsgebern und Widerstandsmeßbrücken meßtechnisch erfassen lassen, erschließt derartigen elektrischen Wandlern mit Frequenzanalogausgang ein weites Einsatzgebiet.

Wird die Störsicherheit frequenzanaloger Meßketten untersucht, so steht im allgemeinen die Störfestigkeit der Signalübertragung im Vordergrund der Betrachtungen [1] und [2]. Wie jedoch in [9] nachgewiesen wurde, weisen insbesondere die direkten Wandlungsverfahren zusätzlich eine erhöhte störungsmindernde Wirkung bezüglich der Störspannungen auf, die über den Meßwertgeber eingekoppelt werden (s. Störungsmodell im Bild 6).

Schlußbemerkungen

Frequenzanaloge Systemkomponenten zur Meßwert- und Stellsignalübertragung stellen ein Koppelsystem zwischen analoger Prozeßinstrumentierung und digitaler Informationsverarbeitung dar, das die Vorteile analoger und digitaler Signale nutzt und einen stufenlosen Übergang zwischen beiden Teilsystemen ermöglicht. Die störungsunterdrückende Wirkung frequenzanaloger Signale im prozeßnahen Raum und die Kompatibilität zu den mit hoher Übertragungsgeschwindigkeit arbeitenden digitalen busorientierten Systemen ergeben insbesondere für die Meßwerterfassung eine neue Qualität, die sich unter anderem auch als wirtschaftlicher Faktor auswirkt. Denn durch die Anwendung frequenzanaloger Signale in der Prozeßinstrumentierung können preisgünstige ungeschirmte Zweidrahtleitungen zum Einsatz kommen.

Literatur

[1] *Gossel, D.:* Frequenzanalogie — Ein Konzept für Meß- und Regelsysteme mit digitaler Signalverarbeitung. ETZ-A, 93 (1972) H. 10, S. 577—581.

[2] *Güttler, F.:* Sekundärcharakteristiken gestörter frequenzanaloger Meßsysteme. Wissenschaftliche Berichte der Technischen Hochschule Leipzig (1978) H. 25, S. 19—24.

[3] *Kalis, H.; Klinck, M.; Landvogt, G.; Lemmrich, J.; Schröder, G.:* Frequenzanaloges Prozeßführungssystem. Fachtagung Prozeßrechner 1974, Lecture Notes on Computer Science. Vol. 12, pp. 223—232. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1974.

[4] *Güttler, F.:* Systemkenngrößen der frequenzanalogen Meßwertübertragung. 21. Internationales Wiss. Koll. TH Ilmenau 1976, Vortragsreihe „Grundlagen und Probleme der Prozeßmeßtechnik".

[5] TGL 32863: Elektrisch-analoge Frequenzsignale für Ein- und Ausgang. August 1976.

[6] F/E-Abschlußbericht: Meßwertübertragung mit frequenzanalogen Signalen. TH Magdeburg 1977.

[7] Applikationsschrift der Firma DATEL SYSTEMS INC.: Universal Voltage to Frequency and Frequency to Voltage Converter. September 1974.

[8] *Tränkler, H.-R.; Zeller, P.:* Digital-/Analogfrequenz-Umsetzung nach dem Prinzip der PLL-Frequenzanalyse. Regelungstechnik 23 (1975) H. 12, S. 403—409.

[9] *Engel, R.:* Geberseitige Wandler zur frequenzanalogen Meßwertübertragung. Dissertation A, TH Magdeburg 1978.

[10] *Meyer-Ebrecht, D.; Bethe, K.; Hoefert, R.; Lemmrich, J.:* Signale frequenzanalog dargestellt. Elektronik 25 (1976) H. 6, S. 36—41.

[11] *Freyberger, F.; Geißler, Ch.; Tränkler, H.-R.:* Spezifische Eigenschaften eines prozeßrechnergeführten Instrumentierungssystems mit Frequenzumsetzung. Siehe [3], pp. 233—243.

[12] *Martin, J. D.:* Digital Methods of Frequency Measurement-A Comparison. The Radio and Electronic Engineer 42 (1972) No. 6, pp. 285—294.

msr 7608

Dr.-Ing. *S. Hiekmann* und Dr. sc. nat. *R. Fülle*, Rossendorf[1])

Gestaltung eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz

IA 4.0.5.

0. Einleitung

Rechnerverbundsysteme, bestehend aus Prozeß- und Großrechnern, werden seit längerem für die Erfassung und Verarbeitung von Meßdaten bei physikalischen Experimenten eingesetzt [1].
Der Großrechner übernimmt numerisch aufwendige Auswertungsoperationen, während die Prozeß- oder Kleinrechner die Sammlung und Vorverarbeitung der Meßdaten, ferner einfache Aufgaben der Überwachung und Steuerung der Meßapparatur ausführen.
Aus der Entwicklung der experimentellen Forschung ergeben sich steigende Ansprüche an die Stabilität und Genauigkeit der Experimentbedingungen. Für kernphysikalische Messungen an Beschleunigern werden u. a. höhere Stabilität der Strahlparameter, vor allem der Intensität, Richtung und Fokussierung des Strahls sowie der Energie der beschleunigten Teilchen gefordert. Darüber hinaus sind immer häufiger kurzfristige Umstellungen des Arbeitsregimes der Beschleuniger, z. B. bei Änderung der Art und der Energie der zu beschleunigenden Teilchen, notwendig.
Deshalb stand die Aufgabe, auch diejenigen Prozesse, die die Experimentbedingungen bestimmen, mit Hilfe der Rechentechnik zu unterstützen und den Gesamtprozeß von der Erzeugung der zu beschleunigenden Teilchen bis hin zur Darbietung und Interpretation der Meßergebnisse mit Hilfe eines Rechnerverbundes zu realisieren [2] bis [4].
Das Beschleunigersystem muß jedoch nicht nur mit unterschiedlichen Experimenten zusammenwirken, sondern auch andersartige Bestrahlungsaufgaben ausführen können.
Der Beschleunigungsprozeß läuft in einem komplexen, räumlich ausgedehnten System ab. Es gliedert sich in relativ autonome Teilsysteme für die Ionenerzeugung (Ionenquelle und Injektor), die Ionenbeschleunigung und die Strahlführung. Eine weitergehende Strukturierung ergibt sich aus den technologischen Prozessen, wie Spannungs- und Vakuumerzeugung in Teilsystemen des Beschleunigers.
Ein Rechnersystem zur Unterstützung der Beschleunigungsprozesse muß deshalb folgende Bedingungen erfüllen:

- flexibel sein bezüglich Änderungen und Erweiterungen
- anschlußkompatibel sein zum Rechnersystem für die Meßdatenverarbeitung
- durch Dezentralisierung der Intelligenz der Topologie und der funktionellen Struktur des Beschleunigersystems entsprechen.

Die Effektivität des Rechnereinsatzes wird aber nicht nur durch das Zusammenwirken von Beschleuniger- und Prozeßrechnersystem, sondern auch durch die Gestaltung der Kommunikation von Mensch und Rechner bestimmt. Sie beinhaltet die Dialektik der Anpassung der Technik an den Menschen und der Anpassung des Menschen an die Technik. Die sich hieraus ergebenden Probleme wurden bisher vorwiegend aus der Sicht der Ergonomie betrachtet [5].
Nach den Erfahrungen der Verfasser müssen darüber hinaus Aspekte der Persönlichkeitsbildung, insbesondere psychologische Gesichtspunkte, wie die inneren Leistungsvoraussetzungen der am Prozeß tätigen Menschen und deren Übereinstimmung mit den angebotenen Kommunikationslösungen Berücksichtigung finden. Die Übereinstimmung der Kommunikationsgestaltung mit den inneren Leistungsvoraussetzungen beeinflußt maßgeblich, ob ein Rechnersystem beim Einsatz in Forschung und Produktion von den Nutzern akzeptiert und in seiner Leistungsfähigkeit voll zur Wirkung gebracht wird.
Neben der Bereitstellung einer nutzungsfähigen Rechnersystemlösung zur Experiment- und Beschleunigerautomatisierung unter Einbeziehung der Mikroelektronik war es das Ziel der Arbeiten, Gestaltungsprinzipien von Rechnersystemen zu untersuchen und zu erproben. Im folgenden werden erste Ergebnisse insbesondere zur Gestaltung des Rechnersystems und der Mensch-Maschine-Kommunikation vorgestellt. Über den Einsatz eines Abschnittes des im Aufbau befindlichen Rechnersystems wird in [6] und [7] berichtet.

1. Prozeßrechnersystem mit verteilter Intelligenz

Die eingangs formulierten Anforderungen an ein Rechnersystem zur Unterstützung der Beschleunigerprozesse im Gesamtprozeß des Experiments lassen sich unter Nutzung der von der Mikroelektronik gegebenen Möglichkeiten am günstigsten durch ein Prozeßrechnersystem mit verteilter Intelligenz erfüllen. Seine wesentlichen Vorzüge sind

- die übersichtliche, zugleich variable Struktur und damit eine hohe Transparenz des Gesamtsystems durch Homomorphie von Rechner- und Beschleunigersystem
- eine erhöhte Rechenleistung und schnelle Reaktion durch Parallelverarbeitung
- eine hohe Flexibilität hinsichtlich Änderungen, Erweiterungen und Ersatz bei Ausfällen von Teilsystemen durch einen standardisierten und modularen Aufbau
- eine geringe wechselseitige Beeinflussung der einzelnen Systemkomponenten bei Ausfall oder Fehloperationen eines Teilsystems durch deren weitgehende Entkopplung.

Entsprechend den unterschiedlichen Aufgabenprofilen der einzelnen Teilprozesse am Experiment, wie Beschleunigersteuerung, Meßdatenerfassung, Meßdatenauswertung, kommen im System Rechner unterschiedlicher Leistungsklassen zum Einsatz. Bild 1

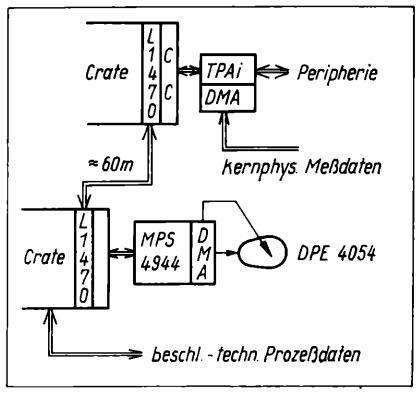


Bild 1. Grundkonfiguration des Prozeßrechnersystems

zeigt die Grundkonfiguration des Rechnersystems. Das Mikrorechnersystem MPS 4944 führt einfache Operationen der Datenverarbeitung aus; es steuert weitestgehend autonom die angeschlossenen Crates (hier ein CAMAC-Crate mit Modulen der Prozeßperipherie) und versorgt ferner die dazu gehörige Displayeinheit mit Information, die vom Prozeß oder vom angeschlossenen Rechner kommt.
Der Kleinrechner TPAi hingegen übernimmt die aufwendigeren arithmetischen Operationen für Steuerung, Führung und Optimierung sowie die Programmversorgung des Mikrorechner-

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, ZfK Rossendorf.

systems. Eine umfangreiche Peripherie unterstützt ihn bei der Lösung der Aufgabe.

Numerisch aufwendige Aufgaben werden künftig durch einen ESER-Großrechner ausgeführt. Der geforderte standardisierte und modulare Aufbau des Systems wurde durch den Einsatz einer CAMAC-Gerätetechnik verwirklicht. Mit ihrer genormten Hardware-Schnittstelle ermöglicht sie eine flexible Kopplung sowohl von Rechnern unterschiedlicher Leistungsklassen miteinander als auch von Geräten der Prozeßperipherie mit den Rechnern bei weitestgehender herstellerspezifischer Unabhängigkeit der Elemente.

Das CAMAC-System umfaßt Module sowohl für die Meßdatenverarbeitung als auch für die Unterstützung des Beschleunigerprozesses. Entsprechend ihrer Stellung und Funktion im System unterscheidet man zwischen Prozeßeingabe/ausgabe- und Systemmodulen.

Zur Vereinheitlichung des Systems wurde die Anzahl der unterschiedlichen CAMAC-Module minimiert.

Als Prozeßeingabe/ausgabeperipherie werden nur 7 unterschiedliche Modularten verwendet: Analog-Digital-Konverter, Digital-Analog-Konverter, Analog-Multiplexer, digitales Eingabe- und Ausgaberegister SI 1.2, Zähler, Schrittmotor-Multiplexer [8] sowie ein Eingabemodul für 4 × 24 digitale Signale [9].

Die Systemmodule lösen prozeßunspezifische Aufgaben, wie Speicherung, Transfer und Darbietung von Information. Sie bestimmen somit wichtige Leistungsparameter des Rechnersystems. Zu ihnen zählen Speicher, Timer, Plotterdriver, Dezimal- und Datenwegdisplay, ferner ein Anschlußmodul für Magnetbandspeicher [10] und ein programmierbarer LAM-Grader [11] als Eigenentwicklungen. Aus der Spezifik der Automatisierungsaufgaben am Beschleuniger und deren Lösung durch ein Rechnersystem mit verteilter Intelligenz ergaben sich Gestaltungsprinzipien, die die Entwicklung einiger neuartiger Module erforderlich machten.

— CAMAC-Crates mit den zugeordneten Modulen und dem Steuerrechner werden grundsätzlich über CAMAC-Linkmodule [12] miteinander verbunden. Hierdurch lassen sich unterschiedliche, der jeweiligen Aufgabe angepaßte Verbundstrukturen von Rechnersystemen aufbauen. CAMAC-Linkmodule sind Modems, die eine bitserielle, schnelle Datenübertragung ($2 \cdot 10^5$ Byte/s) einschließlich ihrer Steuerung und Kontrolle ausführen können und in ihren mechanischen und elektrischen Parametern dem CAMAC-Standard entsprechen. Sie erlauben eine Kopplung von Crates über Strecken bis zu 1 km Länge. Die maximale Entfernung von Crates, die mit einem Steuerrechner über einen Branch verbunden sind, ist hingegen auf 60 m begrenzt.

— Befindet sich ein zweites Crate weitab vom Steuerrechner, so kommt ein extern steuerbarer Crate-Controller [13] zum Einsatz. Er empfängt die Befehle und Daten nicht über den vertikalen Datenweg (Branch), sondern ebenfalls über Linkmodule. Er gestattet die Fernsteuerung von Crates über Entfernungen bis zu 1 km. Dieser Crate-Controller hat außerdem die Möglichkeit, mit einem intelligenten Modul über einen Hilfsbus zusammenzuarbeiten.

— CAMAC-Crates, deren Module Information mit speziellen Baugruppen des Beschleunigers, z. B. der Ionenquelle, austauschen, können sich auf Potentialen von mehreren 100 kV gegen Erde befinden. In diesen Fällen werden optoelektronische Übertragungsstrecken [14] zwischen die Linkmodule geschaltet.

Als Beispiel für die Einsatzmöglichkeiten der drei zuletzt genannten Module zeigt Bild 2 die in Erweiterung befindliche Grundkonfiguration des Rechnersystems.

2. Gestaltung der Kommunikation mit dem Nutzer

Die Nutzerfreundlichkeit und Effektivität der Kommunikation von Mensch und Rechner wird durch eine Reihe ergonometrischer Aspekte [5], in hohem Maße aber durch den Grad der wechselseitigen Anpassung von Mensch und Technik bestimmt. Der Anpassungsgrad ist wiederum abhängig von den inneren Leistungsvoraussetzungen des am Prozeß tätigen Menschen. Unter den inneren Leistungsvoraussetzungen versteht man die für eine Tätigkeit relevante Fähigkeit, Fertigkeit, Motiviertheit, Aktiviertheit und Erfahrung des Menschen [15].

Wegen der Bedeutung des Anpassungsgrades von Mensch und Maschine für die Akzeptanz und Wirksamkeit eines Rechnersystems wurde zunächst versucht, die rechentechnische Kommunikationslösungen an die bestehenden inneren Leistungsvoraussetzungen anzupassen und im Nachgang die Anpassung des Menschen an die Technik angestrebt. Komplikationen ergeben sich, wie beobachtet wurde, aus den erheblichen Unterschieden hinsichtlich der inneren Leistungsvoraussetzungen bei den am Beschleuniger tätigen Operatoren, deren Ausbildungsgrad

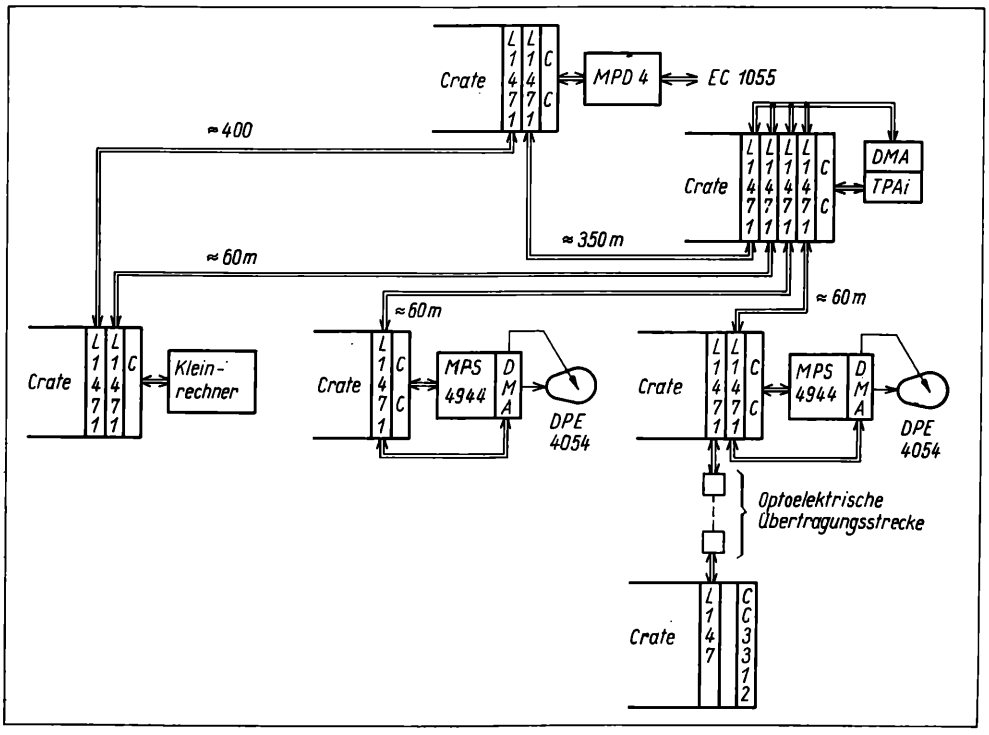


Bild 2. Im Aufbau befindliche Erweiterung der Grundkonfiguration

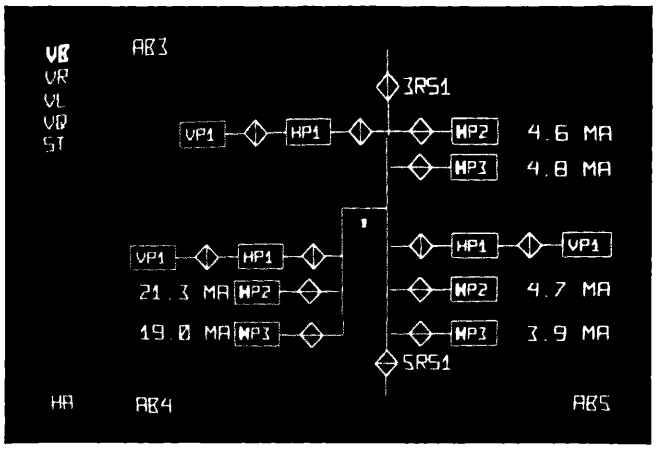


Bild 3. Displaybild für das Vakuumteilsystem „Beschleuniger"

(Ingenieur oder Facharbeiter) und Erfahrungen erheblich divergieren. Hieraus resultieren unterschiedliche Einstellungen und Nutzungsfähigkeiten bezüglich der angebotenen Rechentechnik.

Der am Beschleuniger tätige Operator sollte visuelle und akustische Elemente seiner bisherigen Arbeitsumwelt am Rechner wiederfinden. Er ist in der Regel bisher gewöhnt

- an Anlagenschemata, die an Schalttafeln angebracht sind
- an eine große Anzahl von Zeigerinstrumenten, die über den Zustand der Anlage informieren.

In der Orientierung auf die Bildschirmtechnik wird die Lösung gesehen, die gewohnte akustische und visuelle Umgebung des Operators zu erhalten und gleichzeitig seine Aufmerksamkeit von einer Vielzahl von Zeigerinstrumenten auf ein mit Meßwerten versehenes Schema zu konzentrieren und damit einen hohen, aber übersichtlichen Informationsfluß zu schaffen. Die bei der Bildschirmtechnik gefürchtete Gedächtnisüberlastung, verursacht durch eine hohe Informationsfolge, wird dadurch vermieden, daß die anfallenden Informationsmengen funktionell aufgeteilt und in statischen Displaybildern bereitgestellt werden. Die Auswahl und Aktivierung eines dieser Bilder erfolgt durch den Nutzer, der es dann auch beliebig lange betrachten kann. Darüber hinaus wird die Minderung der Gedächtnisüberlastung noch dadurch unterstützt, daß ein selektives Informationsangebot handlungsbedeutender Prozeßdaten grundsätzlich bei Bildwechsel vom vorherigen Bild entsprechend den Erfordernissen mit übernommen wird.

Mit dem Ausbau des Informationsangebotes wurden spürbar die Ansprüche der Nutzer an weiterer Informationsbereitstellung stimuliert, hierdurch die inneren Leistungsvoraussetzungen weiterentwickelt und Möglichkeiten für die Erweiterung des Informationsaustausches eröffnet.

Grenzüberschreitungen, Störungen oder gar Havarien können den Operator in Streßzustände versetzen; für deren Abbau sowie zur Einleitung zweckmäßiger Reaktionen bietet das Rechnersystem handlungsweisende Informationen an [16]. Eine Informationsgruppe vermittelt eine Abbildung des Zustandes im gestörten Anlagenbereich, bei Zusammenbruch des Vakuums beispielsweise die zeitliche Änderung des Druckes an bestimmter Stelle. Dem (erfahrenen) Operator sind damit notwendige Hinweise für eigene Maßnahmen gegeben. Eine weitere Informationsgruppe, die wahlweise angefordert werden kann, beinhaltet Empfehlungen an den (weniger erfahrenen) Operator für Handlungen zur Behebung des kritischen Anlagenzustandes. Dabei wird ihm ein angemessener Entscheidungsspielraum gelassen.

Im Dialog über das Display fungieren Zeichen oder Zeichensysteme als Tätigkeitsvoraussetzungen. Sie informieren oder leiten manuelle Tätigkeiten ein. In jedem Fall muß sie der Nutzer bei geforderter maximaler Aufnahmegeschwindigkeit sicher erkennen (z. B. durch Hell-Dunkeltastung), wiedererkennen (z. B. durch kategoriale Gliederung) und interpretieren (z. B. durch anschauliche Widerspiegelung der Objektzustände oder bekannte Entsprechungen zwischen Objektzustand und informationstragendem Zeichen).

Es ist offensichtlich, daß die Auswahl und Darstellung von Zeichen und Zeichensystemen sehr gewissenhaft geschehen und an die inneren Leistungsvoraussetzungen der Nutzer angepaßt werden muß, um die genannten Anforderungen an sie weitgehendst zu erfüllen.

Verwendet werden alpha-numerische und geometrische Zeichen sowie die Kombinationen. In der bisherigen Praxis werden diese in zwei Helligkeitsstufen dargestellt. Anlagenteile werden als Rechtecke und auf der Spitze stehende Quadrate symbolisiert. Zur Erhöhung der Wiedererkennbarkeit und der fehlerfreien Zuordnung des Zeichens zum Objektzustand (Interpretation) wurden nur gewohnte Zeichen verwendet und mit geometrischen ergänzt, die anschaulich das konkrete Teilprozeßsystem widerspiegeln (Bild 3).

Hat der Nutzer die ihm angebotenen Zeichen und Zeichensysteme detektiert, so wird die sich darum anschließende Tätigkeitsauswahl seiner Entscheidungsfähigkeit überlassen. Es gibt jedoch Situationen, in denen man die freie Tätigkeitsauswahl einschränken und steuern möchte (Menütechnik), um z. B. eine manuell-normierte Prozeßführung zu erreichen. Diese Absicht bedeutet zweifellos eine Einschränkung der Herausforderung an die Entscheidungsfähigkeit der Nutzer.

In der Praxis und in Diskussionen über zukünftige Vorhaben wurde jedoch dazu noch keine Ablehnung wahrgenommen. Die Erfahrungen der Verfasser deuten darauf hin, daß diese Führungsfunktion vom Nutzer akzeptiert wird, solange ein angemessener individuell-schöpferischer Spielraum verbleibt, der seine innere Leistungsvoraussetzung ausschöpft.

Im angeführten Fall ist der Nutzer ein Beschleunigungstechniker und kein EDVA-Spezialist. Sein individuell-schöpferischer Spielraum richtet sich demnach auf beschleunigungstechnische Tätigkeiten. Da aber der Anpassungsgrad des Prozeßspezialisten an das Rechnersystem maßgeblich die Akzeptanz des Automatisierungssystems bestimmt, wird die Auffassung vertreten, daß in Zukunft der individuell-schöpferische Spielraum auch für die rechentechnische Seite geschaffen werden muß, um das Interesse dafür stärker zu wecken.

3. Gestaltung der Software

Voraussetzung für die geplante Leistungsfähigkeit des Prozeßrechnersystems entsprechend den in der Einleitung aufgeführten Anforderungen ist ein darauf abgestimmtes Softwaresystem. Zwei wesentliche Kriterien müssen von ihm erfüllt werden:

- jeder Rechner muß seine Eigenständigkeit haben
- jeder Rechner muß gleichberechtigt eine Anforderung an einen anderen Rechner abgeben können.

Die Erfüllung dieser Kriterien verbietet ein zentrales Betriebssystem [17]. Jeder Rechner muß die Möglichkeit haben, seine Peripherie selbst zu steuern und sich über die aktuelle Systemsituation zu informieren. Eine solche autonome Verwaltung ist rechnerspezifisch und kann in Form eines kommerziellen Betriebssystems vorliegen oder auch in einfachster Form im Nutzerprogramm eingebettet sein.

Der Datentransfer ist an das Echtzeitverhalten des Prozesses gebunden. Die völlig dezentrale Verwaltung bedingt insgesamt einen erhöhten Speicher- und Zeitbedarf. Besonders der erhöhte Zeitbedarf, verursacht durch die Transfersynchronisation, kann es notwendig machen, zeitkritische Meßwerterfassung und -verarbeitung durch intelligente CAMAC-Module zu unterstützen.

Eine erarbeitete Lösungsvariante für den TPAi [18] und für den MPS 4944 [7] liegt vor. Als Kopplungsglied wird der bereits er-

wähnte CAMAC-Linkmodul 1470 oder 1471 eingesetzt. Die Transfersynchronisation und der danach folgende Transfer selbst wird durch einen Link-Handler realisiert. Er besteht aus einem Sende- und Empfangsteil. Beide Teile müssen in jedem angeschlossenen Rechner vorhanden und an das entsprechende Betriebssystem angepaßt sein. Eingeleitet wird der Datentransfer durch ein vom Senderechner abgegebenes Meldesignal, das im Empfangsrechner über ein Interrupt einen Dialog einleitet. In dem Dialog werden alle notwendigen Kennzeichen und Statussignale für den Transfer ausgetauscht.

Zusammenfassung

- Mit dem vorgestellten Prozeßrechnersystem wurde eine Lösung gefunden, die den unterschiedlichsten Aufgaben eines Prozeßsystems, im betrachteten Fall bei der Erzeugung und Beschleunigung der Ionen beginnend und bei der Auswertung und Darbietung der kernphysikalischen Ergebnisse endend, aus jetziger Sicht langfristig gerecht wird.
- Durch die modulare Gestaltung mit definierten Schnittstellen und Konventionen bei dem Informationsaustausch wird sowohl hard- wie softwareseitig ein hoher Grad der Innovationsfestigkeit erreicht.
- Durch die Gleichberechtigung aller im System vorhandenen Rechner (nicht hierarchisches System) ist eine zentrale Steuerfunktion, die den gegenwärtigen Systemzustand und die zu lösenden Aufgaben berücksichtigt, nicht erforderlich. Jeder Rechner koordiniert seine Aufgaben und die zu beliebigen Zeiten von außen gestellten Anforderungen selbst. Daher können problemlos Rechner vom System getrennt oder angeschlossen bzw. Aufgaben hinzugefügt oder entfernt werden, wodurch eine große Flexibilität erreicht wird. Die erforderliche Synchronisation des Datentransfers zwischen zwei miteinander kommunizierenden Rechnern gewährleistet der Link-Handler, der vom Rechnertyp und von der Transferrichtung unabhängig ist. Einzige Voraussetzung für die Interprozessorkommunikation sind die im Senderechner abgelegten Konventionen der vorgesehenen Empfangsrechner und eindeutig definierte Schnittstellen im System.
- Nach den bisherigen Erfahrungen unterliegt die angestrebte nutzerfreundliche Kommunikation einer komplizierten Wechselwirkung zwischen Mensch und Rechentechnik. Daher sollte dieser Seite, wozu auch die Persönlichkeitsentwicklung gehört, größere Aufmerksamkeit unter Beachtung arbeitspsychologischer Gesichtspunkte entgegengebracht werden, als es bisher allgemein üblich ist. Der Einsatz der Displaytechnik gibt dafür gute Voraussetzungen.

Literatur

[1] *Fülle, R.:* Beiträge zur Gestaltung rechnergestützter Experimente in der Kernphysik. Dissertation B, TU Dresden 1980.
[2] *Hiekmann, S.; Fülle, R.:* Gestaltung eines Rechnersystems zur Automatisierung von Beschleunigern im ZfK Rossendorf. Vortrag auf dem 10. Symposium Kernelektronik, Dresden 10. bis 16. April 1980.
[3] *Hiekmann, S.; Fülle, R.; Weidhase, F.:* Erste Erfahrungen mit einem flexiblen Mehrrechnersystem. 14. Fachkolloquium Informationstechnik. Dresden 3. bis 5. Februar 1981.
[4] *Fülle, R.; Hiekmann, S.:* Zum Wandel in der Betrachtung und Gestaltung automatisierter Meßprozesse, dargestellt am Beispiel des kernphysikalischen Experiments. ZfR-79.14 (1979).
[5] *Limerz, P.; Meesen, H.; Münch, E.; Pfeiffer, H.:* Untersuchung ergonometrischer Fragestellungen zum Einsatz von Datensichtgeräten in Worten. Jül-1706 (1981).
[6] *Fülle, R.; Hartmann, B.; Hiekmann, S.; Pietzsch, G.:* Automatische Energievariation am Tandem-Beschleuniger EGP 10-1 auf der Grundlage eines Prozeßrechnersystem mit verteilter Intelligenz. msr 25 (1982) H. 12, S. 674 bis 678.
[7] *Pietzsch, G.:* Meßwerterfassung mit Mikrorechner und Darstellung der Meßwerte auf einem Display. msr 25 (1982) H. 11, S. 641–642.
[8] *Borkenhagen, M.:* CAMAC-Modul für die Ansteuerung eines als Schrittmotor betriebenen Synchronmotors (LSS 5/16). Jahresbericht ZfK-443 (1980).
[9] *Borkenhagen, M.:* CAMAC-Modul für die Eingabe von 4 × 24 Bit. Jahresbericht ZfK-443 (1980).
[10] *Angermann, H.; Baldauf, D.:* CAMAC-Anschluß für Magnetbandgeräte ZMB-30. Jahresbericht ZfK-385 (1978).
[11] *Weidhase, F.; Hoffmann, G.:* Programmierbarer LAM-Grader 2320. Jahresbericht ZfK-408 (1980).
[12] *Weidhase, F.* u. a.: Anwendungsmöglichkeiten und Konzeption des seriellen Linkmoduls 1471. Dresden: TU-Information 05-28-78 (1968).
[13] *Pöthig, J.; Weishase, F.:* Manuell und extern steuerbarer CAMAC-Crate Controller. Dresden: TU-Information 05-14-79 (1979).
[14] *Weidhase, F.; Kreuzer, E.:* Digitale Optoübertragungsstrecke. Jahresbericht ZfK-408 (1979).
[15] *Hacker, W.:* Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1980.
[16] *Sawalowa, N. D.* u. a.: Die Funktionsteilung zwischen Mensch und Automat und das Prinzip des aktiven Operators. Sowj. Wissenschaft, gesellsch. Beiträge Nr. 3 (1972).
[17] *Lorenz, L.; Viehweger, W.:* Zu Prozeßrechnersystemen mit verteilten Mikroprozessorstationen und deren Programmierung. PDV Berichte, KFK PDV 50 (1975).
[18] *Linnemann, W.-J.:* Echtzeitbetrieb bei Rechnersystemen mit paritätisch verteiltem Betriebssystem. Vortrag 14. Fachkolloquium Informationstechnik. Dresden 3. bis 5. Februar 1981.

msr 7678

Dipl.-Phys. *F. Wächter*, Dipl.-Ing. *M. Gulbins*, Dr.-Ing. *G. Franke* und Dipl.-Ing. *G. Döring*, Dresden[1])

Konzipierung von industriellen Steuerungen mit PLA's

IA 4.5.

0. Einleitung

Durch die Entwicklung der Halbleiterelektronik stehen heute für den Steuerungsentwurf außer den Bausteinsortimenten mit elementaren Funktionen LSI-Bauelemente, wie Mikroprozessoren, Halbleiterspeicher und PLA's (Programmable Logic Array), zur Verfügung. Da mit sequentiellen PLA's kleine bis mittlere Steuerungen innerhalb eines Schaltkreises untergebracht werden können, sind diese auch für die industrielle Steuerungstechnik von Interesse. Dabei müssen beim Entwurf die spezifischen industriellen Steuerungsprobleme, wie Störsicherheit, Unempfindlichkeit gegenüber prellenden Eingangssignalen, spezielle Reaktionen auf Fehlersituationen, berücksichtigt werden. Ziel der Arbeit ist die Vorstellung von Entwurfsvarianten für die PLA-Realisierung industrieller Steuerungen, wobei das Speicherverhalten durch Rückführung von Ausgangssignalen erreicht wird. Bei der Darstellung der Prinzipien wird auf Optimierungsprobleme bezüglich Boolescher Minimierung und Kodierung verzichtet. Als Anwendungsbeispiel der vorgestellten Varianten wird eine PLA-Konzeption eines Standardspeichers für die Steuerungstechnik vorgeschlagen, der eine einfache und transparente Umsetzung von Steuerungsaufgaben in Hardware gestattet.

1. Aufbau und Programmierung einer PLA

Zur Einführung wird nachfolgend der Aufbau einer allgemeinen PLA und die Gewinnung ihrer Matrixbelegung kurz dargestellt (s. auch [5] und [6]). Eine PLA kann als zweistufige UND/ODER-Schaltung mit vorschaltbaren Negatoren aufgefaßt werden [2] und [3]. Mit ihr können Boolesche Funktionen realisiert werden. Sie besteht aus zwei programmierbaren Matrizen. Während PLA's vom Hersteller zu programmieren sind, können FPLA's (Field Programmable Logic Arrays) vom Anwender ähnlich wie PROM's programmiert werden. PLA's sind charakterisiert durch die Anzahl der Eingangsvariablen, der Ausgangsvariablen und der Produktterme.

PLA's haben bezüglich des Realisierungsaufwandes gegenüber Festwertspeichern Vorteile. Bei Festwertspeichern wird jeder

[1]) Mitteilung aus dem Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der AdW der DDR, Institutsteil Dresden.

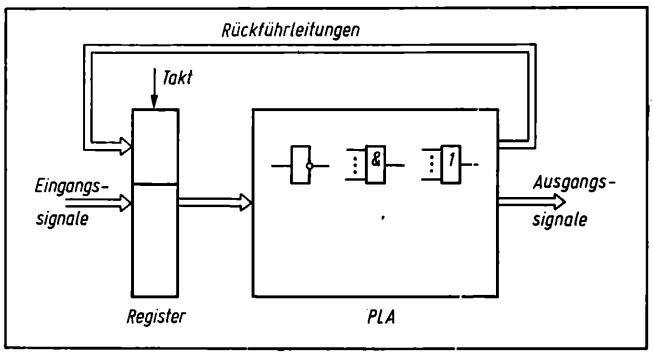


Bild 1. Grundstruktur einer sequentiellen PLA

Tafel 1. PLA-Realisierung der Automaten $A1$ und $A2$

$T_1 = T$; $T_3 = T$

	X			C		C		Y					
	0	1	2	0	1	0	1	0	1	2			
1	1	0	–	0	1	1	0						
2	–	1	–	1	0	1	1				Übergänge		
3	0	–	0	1	1	0	1						
4	0	0	–	0	1	0	1	0	1	0			Beharren und Ausgänge
5	–	0	0	1	0	1	0	1	0	0			
6	–	0	1	1	0	1	0	1	0	1	$A1$	$A2$	
7	1	–	–	1	1	1	1	0	1	1			
8	–	1	–	0	1	0	1	0	1	0	*		
9	0	–	1	1	1	1	1	0	1	1	*		

Eingangsbelegung eine Speicherzelle zugeordnet. Der Wert jeder Eingangsvariablen wird dabei ausgewertet (Elementarkonjunktionen). Bei PLA's werden entsprechend der Programmierung nur die Werte gewünschter Eingangsvariabler abgefragt (Produktterm, Fundamentalkonjunktion). Ein Produktterm deckt eine Menge von Eingangsbelegungen ab. Deshalb kann eine größere Anzahl von Eingangsvariablen als bei Festwertspeichern verarbeitet werden. Außerdem können durch eine Eingangsbelegung gleichzeitig mehrere Produktterme aktiviert werden. Die Gesamtausgabe ergibt sich dann als „Oderung" der Teilausgaben der Produkttermzeilen. Durch Rückführung von Ausgängen auf die Eingänge (Bild 1) werden durch PLA's sequentielle Automaten realisiert. Zur Entwurfsvereinfachung der PLA-Belegung erweist es sich zur Vermeidung von Wettläufen und Hasards als zweckmäßig, in die Rückführungen getaktete Register einzufügen. Bild 1 enthält die Grundstruktur einer sequentiellen PLA.

Ein Automat wird durch das Quintupel $(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{Y}, \boldsymbol{Z}, f, g)$ beschrieben. Dabei ist $\boldsymbol{X}$ die Menge aller Eingangsbelegungen X_j der Eingangsvariablen x_m, $\boldsymbol{Z}$ die Menge binär kodierter Zustände Z_i mit den Zustandsvariablen z_l und $\boldsymbol{Y}$ die Menge aller Ausgabebelegungen Y_k der Ausgabevariablen y_q. Für die Überführungsfunktion f und die Ausgabefunktion g gilt:

$$f\colon (\boldsymbol{Z} \times \boldsymbol{X}) \to \boldsymbol{Z}\,,$$

$$g\colon (\boldsymbol{Z} \times \boldsymbol{X}) \to \boldsymbol{Y}\,.$$

Als Beschreibungsformen des Automaten wurden hier der Automatengraph und die Ablauftabelle benutzt. Die Ablauftabelle, bei der die Eingabebelegung X_j, der Zustand Z_i, der Folgezustand $f(Z_i, X_j)$ sowie die Ausgabebelegung $g(Z_i, X_j)$ in Zeilen nebeneinander stehen, kann unmittelbar als PLA-Belegung aufgefaßt werden (s. Tafel 1). Ein stabiler Zustand liegt vor, wenn innerhalb einer Zeile Zustand und Folgezustand gleich sind. Wenn sich diese Zustände unterscheiden, finden Zustandsübergänge statt.

Es ist zweckmäßig, mit unvollständig spezifizierten Eingangsbelegungen zu arbeiten. Diese entsprechen Belegungsmengen und werden im folgenden durch Boolesche Ausdrücke H_{ij} dargestellt, wobei H_{ij} für alle an einem Übergang von Z_i nach Z_j beteiligten Eingangsbelegungen den Wert 1 und sonst den Wert 0 hat (Bild 2). Der kodierte Automatengraph wird aus einer verbalen Aufgabenstellung erarbeitet. Umformungen auf der Ebene des Graphen sind sinnvoll [4]. Auf eine explizite Erarbeitung der Stabilitätsbedingungen kann verzichtet werden, wenn diese aus den Überführungsbedingungen wie folgt berechnet werden: Ein Zustand Z_i ist für alle die Eingangsbelegungen stabil, für die kein Übergang in einen Folgezustand Z_j erfolgt. Entsprechend ergibt sich der Ausdruck H_{ii} für die stabilen Belegungen von Z_i aus den Ausdrücken für die Belegungen der Übergänge:

$$H_{ii} = \overline{\bigvee_{j \in N(i)} H_{ij}}\,. \tag{1}$$

$N(i)$ ist die Indexmenge der Nachfolgezustände von Z_i. Bei dieser Berechnung von H_{ii} besteht die Möglichkeit, daß in H_{ii} Belegungen enthalten sind, die technologisch nicht auftreten und folglich zwar nicht stören, aber den Realisierungsaufwand (Zeilenanzahl) erhöhen können.

Der Entwurf der PLA-Belegung wird am Beispiel des kodierten Automatengraphen (Bild 3) für verschiedene Schaltungsvarianten durchgeführt. Es werden bezüglich Bild 3 zwei Fälle unterschieden:

Im Fall des Automaten A_1 sind die Ausdrücke H_{11}, H_{22} bzw. H_{33} für die Eingangsbelegungen, bei denen Z_1, Z_2 bzw. Z_3 stabil ist, nicht gegeben. Sie werden gemäß Gl. (1) berechnet:

$$H_{11} = \bar{x}_0 \vee x_1\,, \qquad H_{22} = \bar{x}_1\,, \qquad H_{33} = x_0 \vee x_2\,.$$

Im Fall des Automaten A_2 werden die Ausdrücke zur Berechnung der Eingangsbelegungen für Stabilität aus der verbalen Aufgabenstellung erarbeitet. Beim Vergleich mit A_1 zeigt es sich, daß einige der formal berechneten Belegungen H_{ii} nicht auftreten. Als Stabilitätsbedingungen für A_2 ergeben sich aus der verbalen Aufgabenstellung:

$$H_{11}^{+} = \bar{x}_0\,, \qquad H_{22}^{+} = \bar{x}_1\,, \qquad H_{33}^{+} = x_0\,.$$

Die Ablauftabelle Tafel 1 ergibt sich aus Bild 3. Dabei wurde unterschieden zwischen Übergangs-, Stabilitäts- und Ausgabebedingungen. Im Falle des Automaten A_2 entfallen die unteren beiden Zeilen.

2. Schaltungsvarianten für Steuerungen auf der Grundlage von PLA's

Zum Erreichen von günstigen Eigenschaften bezüglich Störbeeinflussung und Fehlerüberwachung sowie von Termeinspa-

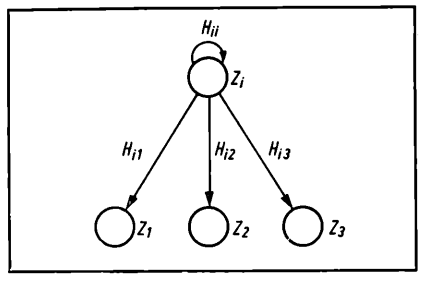


Bild 2. Beispiel für Übergänge aus Z_i in Z_j mit $j \in N(i) = \{1, 2, 3\}$

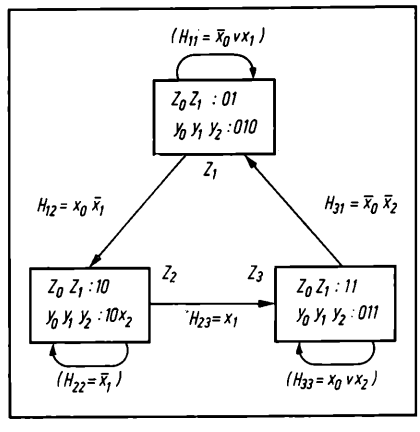


Bild 3. Kodierter Automatengraph für $A1$

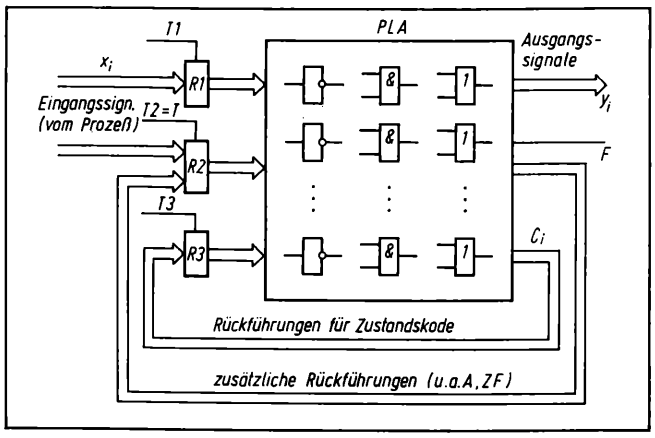


Bild 4. Steuerschaltung auf Grundlage einer PLA

rungen bei der PLA-Realisierung eines Automaten ist der Einsatz einer PLA mit gezielt getakteten Registern /7/ sinnvoll. Anhand von Beispielen werden die oben genannten Gesichtspunkte im folgenden getrennt voneinander auf der Grundlage der allgemeinen Schaltung im Bild 4 behandelt. Im Bild 4 sind der PLA drei Register zugeordnet: $R1$ für Eingangsbelegungen vom zu steuernden Prozeß, $R2$ für zusätzliche Steuersignale und Rückführungen sowie $R3$ für den Kode der Zustände. Die Takte dieser Register werden durch kombinatorische Verknüpfungen eines Grundtaktes T mit Ausgangssignalen der PLA (F, ZF, A) gewonnen. Die nachfolgend diskutierten Fälle nehmen Bezug auf die allgemeine Schaltung nach Bild 4, indem Schaltungsteile weggelassen und andere konkretisiert werden. Die Erläuterung der Schaltungsvarianten erfolgt anhand des Beispiels Bild 3 und Tafel 1. Zusätzlich zu den genannten Belegungstabellen muß noch eine Initialisierung des Registers $R3$ in einen Zustand der Steuerung realisiert werden. Der dazu notwendige Eingang in $R2$ und der zusätzliche Produktterm wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen. Die vorgestellten Varianten sind miteinander kombinierbar. In den Tafeln ist die Realisierung der Automaten $A1$ bzw. $A2$ ohne Zusatzfunktionen stark umrandet.

2.1. *Verringerung der benötigten Zeilenanzahl durch Taktblockierung*

Verwendet werden die Register 1 und 3 von Bild 4. Den Zeilen für die Zustandsübergänge (in Tafel 1: 1—3) wird in Tafel 2 ein zusätzliches Ausgangssignal F zugeordnet. Für die Takte gilt $T_1 = T$ und $T_3 = T \wedge F$. Damit werden die rückgeführten Signale c_i nur nach Ansprechen der o. g. Zeilen in das Register 3 übernommen, und die Stabilitätsbedingung für das Beharren in einem Zustand muß nicht explizit als Zeilenbelegung formuliert werden. Beim Entwurf sind lediglich die Übergangs- und Ausgabebedingungen zu berücksichtigen. Im Beispiel bedeutet das für den Automaten $A1$ eine Einsparung von 2 Zeilen.

2.2. *Zählerschaltung zur Erhöhung der Störsicherheit gegen Impulsbeeinflussung*

Durch eine Verzögerung des Weiterschaltens des Automaten und eine Überwachung der Übergangsbedingungen während der Verzögerung wird eine höhere Störsicherheit erreicht. Verwendet werden alle im Bild 4 dargestellten Register. Zusätzlich zur Taktblockierung nach Abschnitt 3.1. wird in Register 2 durch Rückführung ein Zähler realisiert, der von einem Zählerfreigabesignal ZF gesteuert wird. Für die Takte gilt $T_1 = T$, $T_2 = T$ und $T_3 = T \wedge F \wedge ZF$. Die notwendige PLA-Belegung ist in Tafel 3 angegeben. Ist eine Übergangsbedingung erfüllt (Zeile 1—3), erhält ZF den Wert 1. Wegen $F = 0$ wird der gebildete Kode des Folgezustandes nicht übernommen. Im Folgetakt kann der Zähler (Zeile 8—11) weiterzählen. Ist die Übergangsbedingung während des Zählens nicht erfüllt, wird $ZF = 0$. Bei Wiederauftreten der Übergangsbedingung beginnt das Zählen von neuem. Der Folgekode wird erst dann in das Zustandsregister $R3$ übernommen, wenn der Zähler seine Endstellung erreicht und mit F und ZF T_3 zu 1 wird. Dieses Verhalten läßt sich bei gleichem Prinzip auch mit einem externen Zähler realisieren. Mit dieser Schaltungsvariante wird sichergestellt, daß nur solche Eingangsbelegungen, die während der gesamten Zählzeit anliegen, einen Zustandsübergang hervorrufen. Der Zähler im Beispiel von Tafel 3 zählt von 0 bis 3. Kürzere Zählzeiten ergeben sich mit der gleichen PLA-Belegung durch Auftrennen von rückgeführten Zählerleitungen und Setzen der entsprechenden Eingänge von Register 2 auf 1. Sollen ausgewählte Übergänge „schneller" sein, können z. B. an den mit * gekennzeichneten Stellen in Tafel 3 Einsen eingetragen werden. In diesem Fall ergeben sich für Zeile 2 2faches Zählen und für Zeile 3 ein direkter Übergang (ohne Beteiligung des Zählers).

2.3. *Erkennung und Auswertung von Fehlern*

Treten unerwünschte Eingangsbelegungen auf, können zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Automat abgeschaltet und die Ausgangssignale in einen unkritischen Zustand gebracht werden. Diese Möglichkeit besteht, wenn bei der Konstruktion des Automaten nur die technologisch auftretenden Kombinationen von Eingangssignalen und Zuständen in der PLA-Belegung berücksichtigt werden. Die im Normalbetrieb nicht auftretenden und damit nicht definierten Kombinationen werden im obigen Sinn als unerwünscht behandelt. Wegen der beabsichtigten Fehlererkennung dürfen sie im Sinne der Booleschen Minimierung nicht als undefiniert betrachtet werden. Im Beispiel trifft das für den Automaten $A2$ zu.

Tafel 4 zeigt eine mögliche Realisierung. Verwendet werden alle Register. Für die Takte gilt $T_1 = T \wedge A$, $T_2 = T$ und $T_3 = T \wedge F$. Tritt eine nichterfaßte Eingangsbelegung auf, dann wird keine Zeile aktiviert. A wird folglich zu Null, und der Automat wird im Folgetakt wegen $A = 0$ blockiert. Dabei sind im Register 1 die zum Fehler führenden Eingangsbelegungen und im Register 3 der vor Auftreten des Fehlers aktuelle Zustand gespeichert. Über ein Eingangssignal S werden der Automat wieder im bisher aktuellen Zustand in Betrieb gesetzt und der Takt für das Eingangsregister $R1$ freigegeben. Das Signal R dient als Not-Aus-Signal und blockiert den Automaten von jedem Zustand aus. Das bisher beschriebene Verhalten wird durch den gestrichelt umrandeten Teil von Tafel 4 realisiert. Zusätzlich lassen sich über die Eingänge $D1$ und $D2$ die Registerinhalte an die Ausgänge schalten (in Tafel 4 Zeilen 9—11 für Register 1 und Zeilen 12—13 für Register 3), was eine Fehlersuche erheblich erleichert.

2.4. *Toleranz gegenüber kurzzeitigen Fehlern*

Die o. g. nichterfaßten Eingangsbelegungen können nicht nur durch fehlerhafte Abläufe im zu steuernden Prozeß, sondern z. B. auch durch Laufzeitunterschiede in einer der PLA vorgeschalteten Kombinatorik entstehen. Die letztgenannten Fehler treten nur kurzfristig auf und sind mit einem Zähler tolerierbar. Dieser Zähler zählt im Unterschied zu dem im Abschn. 2.2. er-

Tafel 2. Taktblockierung für Automaten $A1$ und $A2$
$T_1 = T$; $T_2 = T$; $T_3 = T \wedge F$

	X			C		C		Y			F
	0	1	2	0	1	0	1	0	1	2	
1	1	0	—	0	1	1	0				1
2	—	1	—	1	0	1	1				1
3	0	—	0	1	1	0	1				1
4	—	—	—	0	1			0	1	0	
5	—	—	0	1	0			1	0	0	
6	—	—	1	1	0			1	0	1	
7	—	—	—	1	1			0	1	1	

Tafel 3. Zählerschaltung für Automaten *A1* und *A2* $T_1 = T;\ T_2 = T;\ T_3 = T \wedge F \wedge ZF$

	Z		ZF	X			C		C		Y			F	ZF		Z
	0	1		0	1	2	0	1	0	1	0	1	2			0	1
1	–	–	–	1	0	–	0	1	1	0					1		
2	–	–	–	–	1	–	1	0	1	1					1	*	
3	–	–	–	0	–	0	1	1	0	1				*	1		
4	–	–	–	–	–	–	0	1			0	1	0				
5	–	–	–	–	–	0	1	0			1	0	0				
6	–	–	–	–	–	1	1	0			1	0	1				
7	–	–	–	–	–	–	1	1			0	1	1				
8	0	0	1	–	–	–	–	–						0	0	0	1
9	0	1	1	–	–	–	–	–						0	0	1	0
10	1	0	1	–	–	–	–	–						0	0	1	1
11	1	1	1	–	–	–	–	–						1	0	0	0

Tafel 4. Fehlererkennung und -auswertung für Automaten *A2* $T_1 = T \wedge A;\ T_2 = T;\ T_3 = T \wedge F$

	$D1$	$D2$	S	R	A	X			C		C		Y			F	A	
						0	1	2	0	1	0	1	0	1	2			
1	–	–	–	0	1	1	0	–	0	1	1	0				1	1	
2	–	–	–	0	1	–	1	–	1	0	1	1				1	1	
3	–	–	–	0	1	0	–	0	1	1	0	1				1	1	
4	–	–	–	0	1	0	0	–	0	1			0	1	0		1	
5	–	–	–	0	1	–	0	0	1	0			1	0	0		1	
6	–	–	–	0	1	–	0	1	1	0			1	0	1		1	
7	–	–	–	0	1	1	–	–	1	1			0	1	1		1	
8	–	–	1	–	0												1	Start in den Vorzustand
9	1	0	0	–	0	1	–	–	–	–			1	0	0			Durchschalten der fehlerhaften
10	1	0	0	–	0	–	1	–	–	–			0	1	0			Eingangsbelegung
11	1	0	0	–	0	–	–	1	–	–			0	0	1			
12	0	1	0	–	0	–	–	–	1	–			1	0	0			Durchschalten
13	0	1	0	–	0	–	–	–	–	1			0	1	0			Vorzustand

Tafel 5. Fehlertoleranz für Automaten *A2* $T_1 = T;\ T_2 = T;\ T_3 = T \wedge F$

	Z		A'	X			C		C		Y			F	A'	Z		
	0	1		0	1	2	0	1	0	1	0	1	2			0	1	
1	–	–	0	1	0	–	0	1	1	0				1		1	1	
2	–	–	0	–	1	–	1	0	1	1				1		1	1	Übergänge
3	–	–	0	0	–	0	1	1	0	1				1		1	1	
4	–	–	0	0	0	–	0	1								1	1	
5	–	–	0	–	0	–	1	0								1	1	Beharren
6	–	–	0	1	–	–	1	1								1	1	
7	–	–	0	–	–	–	0	1			0	1	0					
8	–	–	0	–	–	0	1	0			1	0	0					
9	–	–	0	–	–	1	1	0			1	0	1					Ausgänge
10	–	–	0	–	–	–	1	1			0	1	1					
11	0	0	–	–	–	–	–	–							0	0	1	
12	0	1	–	–	–	–	–	–							0	1	0	Zähler
13	1	0	–	–	–	–	–	–							1	0	0	
14	–	–	1	–	–	–	–	–							1			Beharren im Fehlerzustand

läuterten die Anzahl der Takte, in denen kein Übergangs- oder Halteterm der PLA anspricht und legt die tolerierbare Fehlerdauer fest.

Eine mögliche Realisierung zeigt Tafel 5. Es werden alle Register verwendet und die Zählerbits $\boldsymbol{Z}$ und ein Signal A' rückgeführt. Für die Takte gilt $T_1 = T$, $T_2 = T$ und $T_3 = T \wedge F$. Liegt eine erfaßte Belegung am Register 1 an, wird der Zähler auf 11 gesetzt und A' bleibt Null. Tritt eine nichterfaßte Belegung auf, wird zunächst keine Zeile aktiviert und der Zähler zu 00. Bei Wiederauftreten einer gültigen Belegung wird $\boldsymbol{Z}$ durch die Zeilen 1–6 wieder auf 11 gesetzt, anderenfalls zählt nur der Zähler weiter. Tritt im Beispiel 4 Takte hintereinander keine gültige Belegung auf, wird mit dem Aktivieren von Zeile 13 A' zu 1, der Automat blockiert und der Fehlerzustand mit der Ausgabe Null wird eingenommen. Die Rückkehr in einen aktiven Zustand ist z. B. durch die Initialisierung möglich.

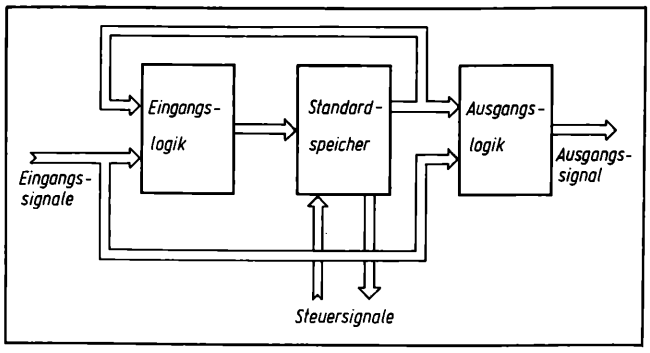


Bild 5. Prinzipschaltbild einer Steuerung

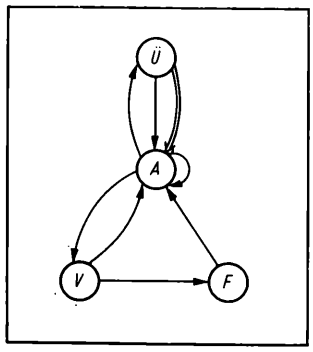


Bild 6. Vereinfachter Graph des internen Ablaufs im Standardspeicher ▶

Tafel 6. Übergänge im Graphen der internen Speichersteuerung

Übergang		Übergangsbedingung / Bemerkung
$A \to A$	a	Nullbelegung am Eingang
	b	Knoten A bleibt erhalten
$A \to Ü$	a	zulässige Eingangsbelegung
	b	$Ü$ wird als Zähler (s. Abschn. 2.2.) mit 2 Abfragen realisiert
$Ü \Rightarrow A$	a	zulässige Eingangsbelegung bei Endstellung des Zählers
	b	Übernahme der Eingangsbelegung in den Speicher und Ausgabe des neuen Zustandes (s. Abschn. 2.2.)
$Ü \to A$	a	unzulässige oder Nullbelegung am Eingang
	b	Abbruch des Zählers, Beibehaltung der Ausgabe des bisherigen Zustandes (s. Abschn. 2.2.)
$A \to V$	a	unzulässige Eingangsbelegung
	b	Realisierung von V als Zähler (viermalige Abfrage) zur Tolerierung kurzzeitiger Fehler (s. Abschn. 2.3., 2.4.)
$A \to V$	a	zulässige oder Nullbelegung
	b	Abbruch des Zählers (s. Abschn. 2.4.)
$V \to F$	a	unzulässige Eingangsbelegung während gesamter Zählzeit
	b	Übergang in den Fehlerzustand (s. Abschn. 2.3.)
$F \to F$	a	alle Eingangsbelegungen (wenn nicht Restart oder Initialisieren)
	b	Verharren im Fehlerknoten. Ausgabe wird blockiert. Über Steuersignale lassen sich Registerinhalte an die Ausgänge schalten (s. Abschn. 2.3.)
$F \to A$	a	Steuersignalbelegungen Restart oder Initialisieren
	b	Auch dieser Übergang erfolgt über einen Zwischenzustand entsprechend Abschn. 2.2.

Durch die Trennung der Halteterme Zeilen 4—6 von denen für die Ausgabe Zeilen 7—10 wird während der Abfrage auf weiterhin ungültige Belegung die bisherige Ausgabe beibehalten. Diese Ausgangsstabilität bei kurzen Eingangsfehlern ist notwendig, da sonst u. U. Schwingungen auftreten können. Trotz der Trennung von Halte- und Ausgabetermen können jedoch Nulleinbrüche am Ausgang entstehen, wenn der realisierte Automat vom Mealy-Typ ist und in den Ausgabetermen nichterfaßte Belegungen auftreten, so daß ggf. spezielle Maßnahmen ergriffen werden müssen.

3. Anwendungsbeispiel: Realisierung eines Standardspeichers

Wegen der vom Hersteller vorzunehmenden Programmierung setzt die Fertigung eines PLA-Schaltkreises für eine konkrete Steuerung hohe Stückzahlen voraus. Solange keine FPLA's zur Realisierung der gesamten Steuerung verfügbar sind, erscheint es sinnvoll, auf der Grundlage einer PLA einen universell einsetzbaren Standardspeicher zur Verfügung zu stellen, der den sequentiellen Teil der Steuerung umfaßt. Bild 5 zeigt das Blockschaltbild einer Steuerung unter Verwendung eines Standardspeichers. Die Entwurfsprobleme und Vorteile eines solchen Speichers sind in [8] und [9] dargestellt. Die zu entwerfende Eingangslogik hat die Aufgabe, Zustandswechsel zu realisieren. Für die Zustandskodierung wird durch äußere Beschaltung wahlweise der 1-aus-n- oder 2-aus-n-Kode benutzt. Von der Eingangslogik wird gefordert, daß alle Eingänge des Standardspeichers den Wert „0" haben (Nullbelegung), wenn der betreffende Zustand stabil sein soll. Zustandsänderungen erfolgen nur, wenn die vereinbarte Kodierungsbedingung erfüllt ist. Andere Eingangsbelegungen des Standardspeichers sind unzulässig und werden als Fehler gewertet.

Die Arbeitsweise des zu entwerfenden Standardspeichers wird nachfolgend erläutert. Dabei wird zwischen den konkreten Zuständen und Zustandsübergängen des Speichers und andererseits den internen Arbeitszuständen des Speichers unterschieden. Letztere sind als Knoten im Graphen des vereinfachten internen Ablaufs (Bild 6) dargestellt. Im Knoten A, der bei Nullbelegung aller Speichereingangssignale stabil bleibt, wird vom Speicher der aktuelle Zustand ausgegeben. Wenn eine Bedingung für einen Zustandsübergang erfüllt ist, wird intern der Knoten $Ü$ (Bild 6) eingenommen. Falls diese Bedingung bei einer zweiten Abfrage noch erfüllt ist, erfolgt ein Übergang in den internen Zustand A, bei dem gleichzeitig der neue Zustand des Speichers hergestellt und ausgegeben wird (im Graph Bild 6 durch $\Rightarrow$ dargestellt). Anderenfalls (bei unzulässiger oder Nullbelegung während der zweiten Abfrage) wird der Übergang in A ohne Änderung des Speicherzustandes ausgeführt. Tritt im Knoten A eine unzulässige Eingangsbelegung auf, so wird der Knoten V eingenommen, wobei der gespeicherte Zustand weiterhin ausgegeben wird. Der Knoten V wird als Zähler (s. Abschn. 2.4.) ausgeführt, so daß kurzzeitige Fehler toleriert werden. Tritt während der Abfrage in V eine zulässige Belegung auf, findet ein Übergang in den Knoten A statt. Steht hingegen während der gesamten Zählzeit (4 Takte) in V eine unzulässige Eingangsbelegung an, wird diese als Fehler gewertet, und es erfolgt ein Übergang in den Fehlerzustand (Knoten F im Bild 6). Hierbei wird an allen Ausgängen 0-Signal ausgegeben. Der ursprüngliche Zustand und die in den Fehlerzustand führende Eingangsbelegung werden gespeichert und können mit Hilfe spezieller Steuersignale auf die Speicherausgänge durchgeschaltet werden. Zur normalen Arbeitsweise kann aus dem Fehlerknoten nur durch die Steuersignale Restart oder Initialisieren zurückgekehrt werden. Die Tafel 6 gibt einen Überblick, wie im einzelnen die im Graphen der internen Speichersteuerung (Bild 6) auftretenden Übergänge entsprechend den im Abschn. 2. erläuterten Prinzipien realisiert wurden.

Auf der Grundlage dieser Konzeption wurde eine PLA-Belegung erarbeitet und simuliert sowie die notwendigen Testsätze bereitgestellt. Der Speicher hat folgende Parameter (vgl. Bild 4):

- Register $R1$: 10 Eingänge (Informationssignale)
  $R2$: 7 Eingänge (Steuersignale)
  + 7 rückgeführte Ausgänge (interne Arbeitszustände)
  $R3$: 5 rückgeführte Ausgänge (kodierte Speicherzustände)

Die Taktung der Register erfolgt entsprechend Abschn. 2.3.

- Ausgabe: 8 Informationsausgänge (Speicherzustände)
  + 6 Steuersignale

(Fortsetzung auf S. 641 unten)

Prof. Dr. rer. oec. habil. *K.-J. Richter*, Dresden[1])

Simulation von Entwicklungslinien ökonomischer Systeme

IA 2 8.1.

1. Problemstellung

Die Entwicklung ökonomischer Systeme äußert sich als Entwicklung charakteristischer Merkmale dieser Systeme, die u. a. durch Kenngrößen ausgedrückt werden. Nachfolgend wird auf die Modellierung und Simulation der Entwicklung des Leistungsvolumens $V(t)$ als einer Kenngröße eingegangen. Ausführliche Untersuchungen wurden im Zusammenhang mit Transportsystemen angestellt [1] bis [4]. Die Leistungsfähigkeit (das Leistungsvermögen, das Leistungsvolumen, die Kapazität) eines ökonomischen Systems hängt entscheidend von zwei Faktoren ab:

a) vom Umfang der Gesamtaufwendungen, die dem System zur Verfügung stehen

b) von der Art und Intensität der Ausnutzung dieser Aufwendungen durch das System.

Die Leistungsfähigkeit wird also durch einen systemexternen Faktor a) und durch einen systeminternen Faktor b) bzw. durch eine systemexterne und durch eine systeminterne Faktorengruppe beeinflußt.

Der zu untersuchende Zusammenhang ist ziemlich komplex und nicht einfach zu beschreiben. Seine Kenntnis hat Bedeutung für die dynamische Proportionierung im Zweig und für die lang- und mittelfristige Planung. Entsprechend dem Charakter des Problems liegt es nahe, zu seiner Lösung auf die Theorie der dynamischen volkswirtschaftlichen Verflechtung zurückzugreifen. Dabei sind wegen der Existenz zweier verschiedener Faktoren (Faktorengruppen) zwei Teilprobleme zu lösen.

2. Stetiges Modell

Aus dem Grundriß des dynamischen Modells eines sozialistischen ökonomischen Komplexes nach [5] ist ein dynamisches Modell hergeleitet worden, das es gestattet, die zu erwartende Entwicklung der Leistungsfähigkeit eines bestimmten ökonomischen Systems zu ermitteln. Das stetige Modell beruht auf folgenden Überlegungen:

1. Die Gesamtaufwendungen $G(t)$ des Systems werden unterteilt in
   - Aufwendungen für den Betrieb des Systems $M(t)$
   - Aufwendungen für den Ersatz der verbrauchten Produktionsmittel (entspricht der einfachen Reproduktion) $F(t)$
   - Aufwendungen für die Erweiterung der Leistungsfähigkeit (entspricht der erweiterten Reproduktion) $R(t)$.

   Damit gilt:

   $$G(t) = M(t) + F(t) + R(t) . \tag{1}$$

   Da es sich bei diesem Ansatz um die Grundbeziehung eines dynamischen Verflechtungsmodells handelt, sind die Aufwendungen als Lieferungen der übrigen Sektoren an den Sektor (Zweig, Bereich) des betrachteten ökonomischen Systems zu verstehen. Sie werden im allgemeinen in Währungseinheiten ausgedrückt.

2. Die drei verschiedenen Aufwendungsgrößen $M(t)$, $F(t)$ und $R(t)$ stehen in bestimmter Proportion zur Leistungsfähigkeit $V(t)$ des betrachteten Systems. Es seien
   - die Aufwendungen für den Betrieb $M(t)$ direkt proportional der Leistungsfähigkeit $V(t)$:

     $$M(t) = m \cdot V(t) \tag{2a}$$

   - die Aufwendungen für den Ersatz der verbrauchten Produktionsmittel $F(t)$ direkt proportional der Leistungsfähigkeit $V(t)$:

     $$F(t) = f \cdot V(t) \tag{2b}$$

   - die Aufwendungen für die Erweiterung der Leistungsfähigkeit $R(t)$ direkt proportional dem Zuwachs der Leistungsfähigkeit (der ersten Ableitung der Leistungsfähigkeit nach der Zeit):

     $$R(t) = r \cdot \frac{\mathrm{d}V(t)}{\mathrm{d}t} . \tag{2c}$$

3. Setzt man $m + f = c$ und $\frac{\mathrm{d}V(t)}{\mathrm{d}t} = V'(t)$, so folgt für die Gesamtaufwendungen (Gesamtverbrauch) $G(t)$ nach Gl. (1) unter Verwendung von Gln. (2a) bis (2c) schließlich:

   $$G(t) = c \cdot V(t) + r \cdot V'(t) . \tag{3}$$

   In den Gln. (2a) und (3) sind m, f, c und r Proportionalitätsfaktoren, die die jeweiligen Aufwendungen je Einheit von $V(t)$ beziehungsweise von $V'(t)$ angeben. In allen Beziehungen wird durch (t) die Zeitabhängigkeit der Größen ausgedrückt.

4. Aus der Differentialgleichung (3) werden die Zeitfunktionen $V(t)$ der Leistungsfähigkeit bei vorgegebenen Zeitfunktionen für die Gesamtaufwendungen $G(t)$ hergeleitet. Für den einfachsten Fall nimmt man an, die Gesamtaufwendungen $G(t)$ seien über die Zeit konstant:

   $$G(t) = a = \text{konst} . \tag{4}$$

   In diesem Falle ergibt sich als Lösung für $V(t)$ die Funktion

   $$V(t) = \frac{a}{c} - K\,\mathrm{e}^{-(c/r)\,t} , \tag{5}$$

   die die Entwicklungsmöglichkeit der Leistungsfähigkeit $V(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit t und bei gegebenen Gesamtaufwendungen $G(t)$ beschreibt (Bild 1). Bei konstantem Gesamtverbrauch nähert sich die Leistungsfähigkeit dem Grenzwert a/c an, den sie nicht überschreiten kann.

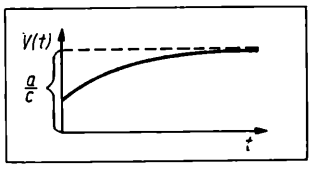


Bild 1. Verlauf der Funktion $V(t)$ nach Gl. (5)

3. Diskretes Modell

Der gefundene Zusammenhang läßt sich durch ein diskretes Modell ebenfalls abbilden. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, daß die Zeit in wirtschaftsplanerischen und wirtschaftsstatistischen Operationen immer als quasi-diskrete Variable verwendet wird. Unter der Voraussetzung, daß der verfügbare Gesamtaufwand $G(t)$ größer ist als der Aufwand (Verbrauch) für Betrieb und einfache Reproduktion, also

$$G(t) > cV(t) \tag{6}$$

gilt, verbleibt bei einer Leistungsfähigkeit im Umfang $V(t)$ eine Aufwandsgröße $G(t) - cV(t) > 0$, die zur Erweiterung der Kapa-

[1]) Mitteilung aus der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden.

zität im Umfang $[G(t) - cV(t)]/r$ zur Verfügung steht. Bei diskreter Zeit würde die Leistungsfähigkeit am Anfang des ersten Zeitabschnittes also $V(t_0)$, am Ende dieses Zeitabschnittes aber

$$V(t_1) = V(t_0) + V(\Delta t_1) \tag{7}$$

mit

$$V(\Delta t_1) = \frac{G(t) - cV(t_0)}{r} \tag{8}$$

betragen. Auch für den zweiten Zeitabschnitt betrage der Gesamtaufwand $G(t)$. Davon würde für Betrieb und einfache Reproduktion der Aufwand $c[V(t_0) + V(\Delta t_1)]$ betragen, womit sich die Höhe der Mittel für die Erweiterung der Kapazität im zweiten Zeitabschnitt gegenüber dem Betrag im ersten Zeitabschnitt um $cV(\Delta t_1)$ verringert. Daraus folgt, daß sich der Zuwachs der Kapazität von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt absolut und relativ verringert, sofern $G(t) = a$ = konst. gilt (Bild 2).

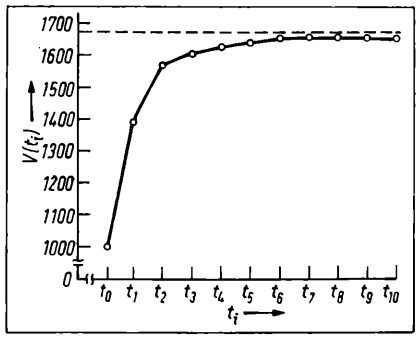


Bild 2. Verlauf der Werte $V(t_i)$ bei diskreter Zeit (Beispiel aus [1])

Für das allgemeine diskrete Modell gelten folgende Festlegungen:

1. Die Zeitwerte t_0, t_1, t_2, ..., allgemein t_i, bestimmen jeweils das Ende des Zeitabschnittes, demnach gibt $V(t_i)$ die Leistungsfähigkeit (Kapazität) am Ende des i-ten Zeitabschnittes an.
2. Der zu Beginn des Gesamtzeitraumes je Zeitabschnitt verfügbare und konstante Wert der Gesamtaufwendungen $G(t)$ muß größer sein als der Verbrauch $cV(t_0)$ für die Leistungsfähigkeit $V(t_0)$:

   $$G(t) = a > cV(t_0)\,. \tag{9}$$

   Andernfalls könnte von Anfang an $V(t_0)$ höchstens ausgeschöpft werden, eine Erweiterung wäre nicht möglich.
3. Alle Koeffizienten m, f, c und r sind konstant. Es muß der Aufwand r je Einheit neugeschaffene Kapazität größer sein als der Aufwand c für Betrieb und einfache Reproduktion je Einheit vorhandener Kapazität, die Gleichheit ist als Ausnahmefall zugelassen:

   $$r \geqq c\,. \tag{10}$$

   Diese Forderung ist ökonomisch einleuchtend. Bei Nichterfüllung würden nicht nutzbare Kapazitäten entstehen.
4. Der Zuwachs an Kapazität nimmt von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt um einen konstanten Prozentsatz ab.

   Die Abnahme erfolgt allgemein um $100 \cdot \frac{c}{r}$ % bzw. auf $100\left(1 - \frac{c}{r}\right)$ %.

Damit ergeben sich für die Entwicklung des diskreten Modells für $G(t) = a$ folgende Schritte:

- Die Leistungsfähigkeit am Ende des Zeitraumes t_0 ist $V(t_0)$.
- Im Zeitraum t_1 wird für die einfache Reproduktion und für die Ausnutzung der Leistungsfähigkeit $V(t_0)$ der Aufwand $cV(t_0)$ verbraucht.
- Wegen $G(t) = a$ stehen im Zeitraum t_1 Aufwendungen im Umfang $a - cV(t_0)$ für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit zur Verfügung $(a > cV(t_0))$.
- Somit beträgt der Zuwachs an Leistungsfähigkeit im Zeitraum t_1 gerade

  $$\frac{a - cV(t_0)}{r},$$

  woraus für die gesamte Leistungsfähigkeit am Ende des Zeitraumes t_1

  $$V(t_1) = V(t_0) + \frac{a - cV(t_0)}{r} \tag{11}$$

  folgt.
- Das Berechnungsprinzip wird für alle folgenden Zeiträume angewandt.

Gemäß den angegebenen Prinzipien ergibt sich:

$$V(t_0) = V(t_0)\,, \tag{12}$$

$$V(t_1) = V(t_0) + \frac{a - cV(t_0)}{r} = V(t_0)\left(1 - \frac{c}{r}\right) + \frac{a}{r}, \tag{13}$$

$$V(t_2) = V(t_1) + \frac{a - cV(_1)}{r} = V(t_1)\left(1 - \frac{c}{r}\right) + \frac{a}{r} = V(t_0)\left(1 - \frac{c}{r}\right)^2 + \frac{a}{r}\left(1 - \frac{c}{r}\right) + \frac{a}{r}, \tag{14}$$

mit

$$q = 1 - \frac{c}{r},$$

also

$$V(t_0) = V(t_0)\,,$$

$$V(t_1) = qV(t_0) + \frac{a}{r},$$

$$V(t_2) = q^2V(t_0) + \frac{a}{r}q + \frac{a}{r},$$

$$V(t_3) = q^3V(t_0) + \frac{a}{r}q^2 + \frac{a}{r}q + \frac{a}{r},$$

$$V(t_4) = q^4V(t_0) + \frac{a}{r}q^3 + \frac{a}{r}q^2 + \frac{a}{r}q + \frac{a}{r},$$

Daraus kann sofort die allgemeine Gleichung

$$V(t_i) = q^iV(t_0) + \frac{a}{r}\sum_{j=1}^{i} q^{j-1} \tag{15a}$$

gewonnen werden, die sich mit Hilfe der bekannten Summenformel in

$$V(t_i) = q^iV(t_0) + \frac{a}{r}\frac{1 - q^i}{1 - q} \tag{15b}$$

umformen läßt.

Es folgt der Grenzwert des Leistungsvolumens als

$$\lim_{t_i \to \infty} V(t_i) = \frac{a}{c}. \tag{16}$$

4. Modifikationen des diskreten Modells

Das zeitliche Verhalten der Leistungsfähigkeit $V(t)$ des Systems ändert sich, wenn die Gesamtaufwendungen nicht konstant sind. Nachfolgend wird der Fall betrachtet, daß die Gesamtaufwendungen $G(t_i)$ in Form einer linearen Funktion im Verlaufe der Zeit anwachsen.

Leitet man die Funktion $V(t_i)$ für die Aufwandsfunktion $G(t_i) = a + (i - 1)\,b$ analog der Herleitung für $G(t_i) = a$ ab, so er-

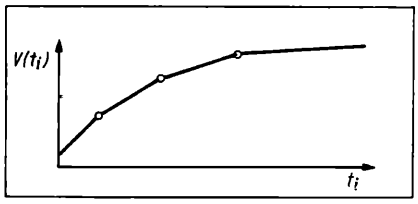


Bild 3. Verlauf von $V(t_i)$ gemäß Gl. (20)

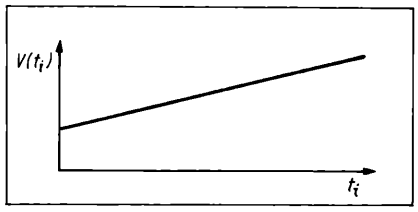
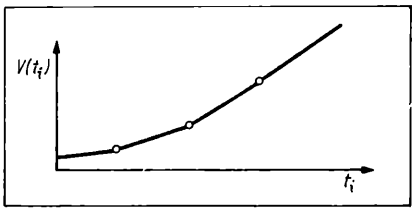


Bild 4. Verlauf von $V(t_i)$ gemäß Gl. (21)



Bil 5. Verlauf von $V(t_i)$ gemäß Gl. (22)

gibt sich

$$V(t_i) = q^i V(t_0) + \frac{a}{r} \sum_{j=1}^{i} q^{i-1} + \frac{b}{r} \sum_{j=2}^{i} (j-1)\, q^{i-j} . \quad (17)$$

Ein Vergleich mit Gl. (15a) zeigt, daß in Gl. (17) das dritte Glied hinzugekommen ist. Dieses Glied ist die Folge des linearen Wachstums der Gesamtaufwendungen $G(t_i)$. Von der Richtigkeit der Gl. (17) überzeugt man sich beispielsweise anhand der Tafeln 1 bis 5 in [2].

Die Berechnungen haben ergeben:

1. Der Grenzwert des Anstiegs der Leistungsfähigkeit $V(t_i)$ beträgt

$$V(\Delta t_{\text{konst.}}) = \frac{b}{c} . \quad (18)$$

2. Der erste Anstieg der Leistungsfähigkeit beträgt immer

$$V(\Delta t_1) = \frac{a - cV(t_0)}{r} . \quad (19)$$

3. Mit wachsender Anzahl der Zeitabschnitte (wachsender Zeitvariablen t_i) geht die Leistungsfähigkeit $V(t_i)$ in einen linearen Verlauf über. Für die Anfangsphase bestehen drei verschiedene Verlaufsformen:

   a) Gilt

   $$V(\Delta t_{\text{konst.}}) < V(\Delta t_1) , \quad (20)$$

   so verläuft die Kurve von $V(t_i)$ zunächst degressiv steigend. Der Anstieg der Kurve geht auf den konstanten Wert b/c zurück.

   b) Gilt

   $$V(\Delta t_{\text{konst.}}) = V(\Delta t_1) , \quad (21)$$

   so verläuft die Kurve von $V(t_i)$ von Anfang an linear.

   c) Gilt

   $$V(\Delta t_{\text{konst.}}) > V(\Delta t_1) , \quad (22)$$

   so verläuft die Kurve von $V(t_i)$ zunächst progressiv steigend. Der Anstieg der Kurve wächst auf den konstanten Wert b/c an.

Diese drei Fälle sind in den Bildern 3 bis 5 dargestellt. Im Ergebnis der Untersuchungen kann festgestellt werden:

- Konstante Gesamtaufwendungen $G(t_i)$ eines ökonomischen Systems führen nach einer gewissen Einlaufphase zu einer konstanten Leistungsfähigkeit (zu konstanter Kapazität) dieses Systems
- Linear steigende Gesamtaufwendungen $G(t_i)$ eines Systems führen, von einer Ausnahme abgesehen, nach einer gewissen Einlaufphase zu einer linear wachsenden Leistungsfähigkeit (zu einer linear wachsenden Kapazität) $V(t_i)$ dieses Systems.

Durch unterschiedliche Vorgabe der Aufwandsfunktionen $G(t_i)$ lassen sich verschiedene Zeitfunktionen $V(t_i)$ des Leistungsvolumens, also verschiedene Entwicklungslinien, simulieren. Dabei können auch sprungartige Veränderungen der Aufwandsfunktion berücksichtigt werden. In jedem Fall handelt es sich dabei um systemexterne Einflüsse auf das Leistungsvolumen.

Systeminterne Einflüsse werden durch die Höhe der spezifischen Aufwendungen c und r widergespiegelt, die sich natürlich ebenfalls in der Zeit verändern können. Untersucht wurde bisher der Fall konstanter relativer Veränderung, und zwar jeweils für konstante Gesamtaufwendungen $G(t_i) = a$. Demnach betragen die spezifischen Aufwendungen c im Zeitabschnitt t_i

$$c_i = c_1 \cdot p_c^{i-1} \quad (23)$$

mit

$$0 < p_c < 1$$

bei abnehmenden und

$$p_c > 1$$

bei ansteigenden spezifischen Aufwendungen.

Die analogen Beziehungen für die spezifischen Aufwendungen r betragen

$$r_i = r_1 \cdot p_r^{i-1} \quad (24)$$

mit $0 < p_r < 1$ für abnehmende und $p_r > 1$ für ansteigende Aufwendungen. Die Größen von p_c und p_r bestimmen das Ausmaß der Ab- bzw. der Zunahme von c und von r.

Die Ergebnisse der durchgeführten Probeberechnungen lauten:

1. Für abnehmende spezifische Aufwendungen c, also für $p_c < 1$, wächst das Leistungsvolumen $V(t_i)$ unbegrenzt an. An die Stelle des festen oberen Grenzwertes a/c tritt nunmehr der Wert

$$V_{\max}(t_i) = \frac{a}{c_1 p_c^{i-1}} , \quad (25)$$

   und zwar wegen Gl. (23). Der Prinzipverlauf ist im Bild 6 dargestellt.

2. Für anwachsende spezifische Aufwendungen c, also für $p_c > 1$, nimmt das Leistungsvolumen $V(t_i)$ nach mehr oder weniger kurzem Anstieg ab. Es geht wegen

$$\lim_{i \to \infty} V_{\max}(t_i) = 0 \quad (26)$$

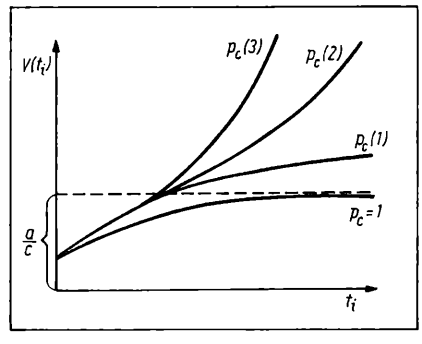


Bild 6. Verlauf von $V(t_i)$ für $p_c < 1$ ($p_c(1) > p_c(2) > p_c(3)$)

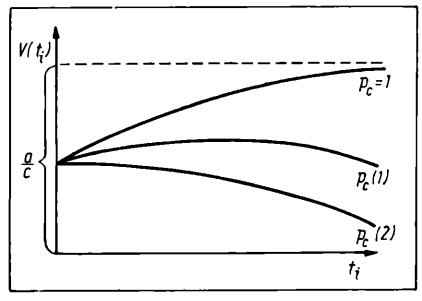


Bild 7. Verlauf von $V(t_i)$ für $p_c > 1$ ($p_c(1) < p_c(2)$)

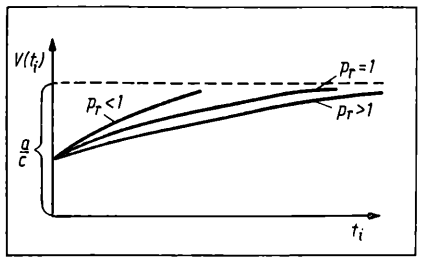


Bild 8. Verlauf von $V(t_i)$ für verschiedene Werte von p_r

gegen Null. Kompensiert werden kann diese im Bild 7 dargestellte Entwicklung nur durch wachsende Gesamtaufwendungen $G(t_i)$.

Legt man im Bild 6 oder im Bild 7 parallel zur $V(t_i)$-Achse Geraden durch verschiedene Zeitpunkte t_i, so liefern die Schnittpunkte einer solchen Geraden mit den Kurven $V(t_i)$ Werte, die zum jeweils gleichen zeitlichen Abstand vom Ausgangszeitpunkt gehören, jedoch für verschiedene p_c-Werte bestimmt wurden. Alle zu einer Geraden, also zum gleichen zeitlichen Abstand vom Ausgangszeitpunkt gehörenden Schnittpunkte ergeben eine Isochrone mit dem allgemeinen Funktionsansatz

$$\overline{V}(t_i) = f(p_c/t = ...) . \qquad (27)$$

Durch die Isochronen wird der Einfluß von p_c auf das Leistungsvermögen $V(t_i)$ besonders deutlich.

3. Für abnehmende spezifische Aufwendungen r, also für $p_r < 1$, ändert sich bei $G(t_i) = a$ das maximale Leistungsvolumen a/c nicht. Das tatsächliche Leistungsvolumen nähert sich dem Maximalwert lediglich schneller an als im Falle $p_r = 1$ (Bild 8).
4. Für zunehmende spezifische Aufwendungen r, also für $p_r > 1$, ändert sich bei $G(t_i) = a$ das maximale Leistungsvolumen a/c ebenfalls nicht. Die Annäherung von $V(t_i)$ an diesen Grenzwert verläuft nun aber langsamer als bei $p_r = 1$ (Bild 8).

5. Weitere Untersuchungen

Mit den bisherigen Ergebnissen, für die Rechnerprogramme aufgestellt und getestet wurden, lassen sich bereits verschiedene Entwicklungslinien eines ökonomischen Systems bestimmen. Der vorgestellte Ansatz bietet aber die Möglichkeit weiterführender Untersuchungen. Diese Untersuchungen betreffen vor allem

- die Kombination der Veränderung von c und r gleichzeitig, wobei sowohl eine systematische als auch eine zufällige Simulation möglich ist
- die Erweiterung der Modellansätze derart, daß die gegenwärtig sehr verdichteten Verbrauchskomponenten $M(t)$, $F(t)$ und $R(t)$ in einzelne Bestandteile aufgegliedert werden, denen unterschiedliche spezifische Aufwendungen zugeordnet werden.

Schließlich kann auch der Entwicklungstyp der spezifischen Aufwendungen, der bisher als konstante relative Veränderung betrachtet wurde, variiert werden.

Literatur

[1] *Richter, K.-J.:* Zum Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Gesamtaufwendungen eines Verkehrssystems, Teil 1. DDR-Verkehr (1979) H. 5, S. 158–161.
[2] *Richter, K.-J.:* dto. Teil 2. DDR-Verkehr (1979) H. 6, S. 199–202.
[3] *Richter, K.-J.:* dto. Teil 3. DDR-Verkehr (1979) H. 8, S. 267–270.
[4] *Richter, K.-J.; Le Ngoc Lan; Nguyen van Lun; Vu Dinh Thi:* Probleme und Ergebnisse der Modellierung von Transportsystemen als Reproduktionssysteme. Wiss. Zeitschrift der HfV „Friedrich List" (1980) H. 5, S. 885 bis 897.
[5] *Kotzig, A.:* Mathematischer Grundriß des dynamischen Modells eines sozialistischen ökonomischen Komplexes. Bratislava: Verlag der slowakischen AdW 1963.

msr 7621

Dr. sc. oec. *J.-A. Müller*, Berlin[1])

Simulation des Gießbetriebs in einem Siemens-Martin-(SM-)Stahlwerk

IA 5.6.4.

0. Einleitung

Mit der Erhöhung des technischen und technologischen Niveaus der Produktionsprozesse ist gleichzeitig eine Verbesserung der Organisation und Leitung dieser Prozesse zu erreichen. Das führt u. a. zu höheren Ansprüchen an die operative Produktionsdurchführung und insbesondere zur Verbesserung der operativen Produktionslenkung.

1. Aufgabenstellung

Da im allgemeinen die Effektivität der Produktionslenkungsstrategien unmittelbar im Produktionsprozeß nicht überprüft werden kann, erfolgt ihre Bewertung am mathematischen Modell, das deshalb möglichst prozeßnah den realen Prozeß abzubilden hat. Der Beitrag beinhaltet die Modellbildung des Gießbetriebs in einem SM-Stahlwerk und erste Modellexperimente. Mit diesem Modell werden zur Zeit Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung von Produktionslenkungsstrategien durchgeführt, die Gegenstand einer weiteren Veröffentlichung sein werden.

[1]) Mitteilung aus der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" Berlin, WB Operationsforschung.

2. Systemanalyse

2.1. Systembildung

Entsprechend der gegebenen Aufgabe — im vorliegenden Fall Produktionslenkung im Gießbetrieb — sind die Grenzen des zu untersuchenden Systems abzustecken, die für die Lösung der Aufgabe wesentlichen Elemente des Gegennstadsbereiches sowie die wesentlichen Einflußfaktoren und Wechselbeziehungen zu ermitteln. Für das SM-Stahlwerk ergab sich die im Bild 1 a gegebene Darstellung des Objekt-Systems, die den im Bild 1 b schematisch dargestellten Pfannenkreislauf nicht enthält.

Eine Dekomposition des Gesamtsystems in Teilsysteme erleichtert die Modellbildung und anschließende Aufgabenlösung erheblich. Im vorliegenden Fall sind der Einfluß der Chargierkrane sowie der Stripperkrane auf den Gießbetrieb durch die Pufferwirkung der Öfen bzw. der Abstehplätze gering. So kann der Einfluß der Chargierseite (Schrottplätze, Mulden, Chargierkrane) als Chargierzeit in der Schmelzzeit berücksichtigt werden.

Zur entsprechend dem Untersuchungsziel adäquaten Modellierung muß der technologische Ablauf ausführlich abgebildet werden. Das setzt eine gründliche Analyse der technologischen Bedingungen voraus. Gleichzeitig werden im Prozeß der System-

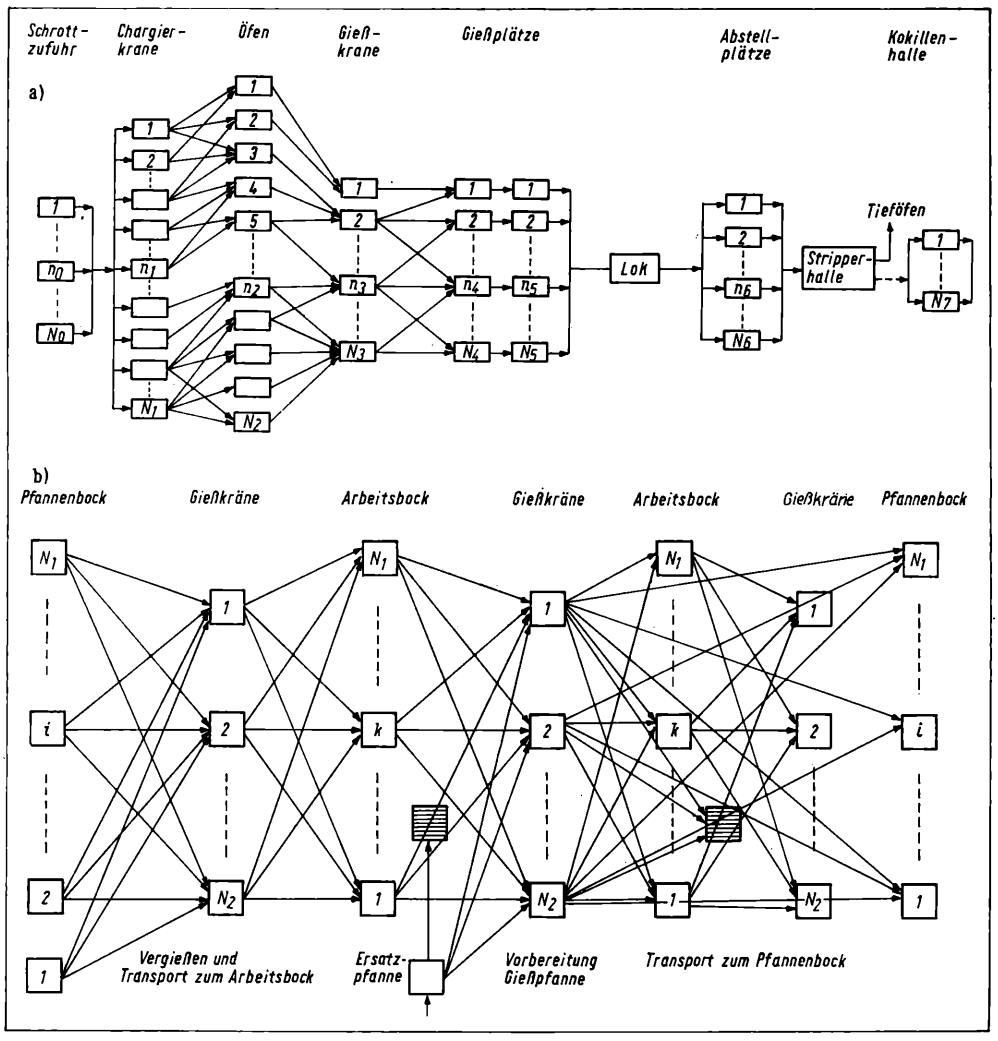


Bild 1. Objekt-System des Gießbetriebes ohne Pfannenkreislauf (a)) und schematische Darstellung des Pfannenkreislaufs (b))

Tafel 1. Einige Modellhypothesen

I. Öfen

1. Die Schmelzzeit setzt sich zusammen aus der ofenabhängigen Einschmelzzeit und der stahlmarkenabhängigen Fertigmachzeit.
2. Die Einschmelzzeit setzt sich zusammen aus der Chargierzeit und der Zeit für das Losschmelzen.
3. Die Schrottzufuhr wird als gesichert angenommen.

II. Gießplätze

1. Vorgesehen sind zwei Stahlmarken beim Vergießen: beruhigter und halbberuhigter bzw. unberuhigter Stahl.
2. Die Gießplätze sind voneinander unabhängig.
3. Die Zeit bis zum Bereitstehen eines vorbereiteten Gießzuges ist eine Zufallsgröße, die sich aus der Wartezeit auf die Lokomotive und der Transportzeit für den neuvorbereiteten Gießzug ergibt.

III. Gießkrane

1. Die Abstichzeit ergibt sich aus der Summe der Zufallsgröße „Laufzeit" und der um die Wartezeit verringerten Zufallsgröße „Hängezeit".
2. Für die Zufallsgröße „Hängezeit" wird keine Unterscheidung nach „ohne Schlacke" und „mit Schlacke" vorgenommen.
3. Die Kranwege können sich nicht kreuzen. Allerdings können die Krane zwischen den Operationen gewechselt werden.
4. Es ist zu berücksichtigen, daß die Operationen „Vergießen", „Transport", „Abstechen", „Vorbereitung Pfanne" und andere sich gegenseitig behindern können.

IV. Gießpfannen

1. Die Gießpfannen können sich in folgenden Zuständen befinden:
   - Pfanne auf dem Bock im fertigen Zustand
   - Pfanne auf Pfannenabstellplatz im fertigen Zustand
   - Pfanne im Zustand Vorbereitung
   - Pfanne im Zustand Abkühlen
   - Pfanne beim Verguß.
2. Der Kran wird während der Vorbereitungszeit der Pfannen und zum Transport benötigt, die Zeiten sind jeweils Zufallsgrößen.
3. Die Vorbereitungszeit setzt sich aus den Operationen „Stopfen entfernen", „Stopfen ausdrücken und Schutt abkippen", „Stopfen einsetzen" zusammen, die gemeinsam eine Zufallsgröße ergeben. Für die Operation „Vorbereitung" wird ein Kran benötigt.

bildung eine Vielzahl von Modellhypothesen erforderlich. Eine Auswahl zur Illustration ist in Tafel 1 angegeben. Diese Modellhypothesen wurden mit den Experten erarbeitet und diskutiert. Im vorliegenden Fall führten Systemanalysen und Experimente mit dem Modell zu mehrfachen Erweiterungen und Veränderungen der Modellhypothesen. Der Einfluß des wissenschaftlich-technischen Fortschritts sowie ständige Prozeßänderungen bedingten häufige Modellveränderungen, wodurch eine experimentelle Arbeit mit dem Modell behindert wurde. Aus diesem Grunde muß man bei der Modellkonzipierung die Flexibilität gegenüber derartigen Änderungen und Modellerweiterungen einplanen.

2.2. *Formalisierung*

Der Übergang zu einer formalisierten mathematischen Struktur macht es erforderlich, den ausgewählten Elementen des Objekt-Systems Kenngrößen (Zustandsgrößen) zuzuordnen und diese als Variable aufzufassen, die Werte aus bestimmten Mengen annehmen können. Dabei ergeben sich diskrete Zustandsgrößen, die typische Situationen, Einsatzbedingungen und Eigenschaften abbilden, sowie stetige Zustandsgrößen. Tafel 2 enthält eine Auswahl diskreter und stetiger Zustandsgrößen.

Die stetigen Zustandsgrößen sind das Ergebnis der im Ablauf realisierten vielfältigen Operationen, auf die eine Vielzahl von

Faktoren und nicht kontrollierbaren Einflußgrößen einwirken. Sie sind im allgemeinen Ausgangsgrößen von detaillierten partiellen Modellen, die das Zusammenwirken dieser Faktoren erfassen. So wird die Dauer des Schmelzvorganges und damit auch die Leistung des Ofens durch chemische und physikalische Prozesse im Ofen selbst bestimmt, die im Rahmen technologischer Prozeßmodelle beschrieben werden können. Entsprechend dem vorliegenden Untersuchungsziel und der erforderlichen Genauigkeit bzw. ausgehend von der Genauigkeitsbilanz des Gesamtmodells reicht es aus, diese Zustandsgrößen als Zufallsgrößen zu beschreiben, deren Häufigkeitsverteilungen aus der Beobachtung erhalten werden können.
Bei ihrer statistischen Analyse waren u. a. folgende Probleme zu lösen:

- Aus dem vorliegenden statistischen Material im Stahlwerk sind nicht alle Zustandsgrößen zu entnehmen bzw. einige der enthaltenen Werte sind z. B. durch Wartezeiten verzerrt.
- Aufgrund der Abstraktion entsprechend den Modellhypothesen existieren für einige Zufallsgrößen keine Prozesse in der Realität.

Mit Hilfe statistischer Testverfahren wurden die ermittelten Verteilungsfunktionen und deren Parameter hypothetisch bestimmt. Erforderlich sind nunmehr Empfindlichkeitsuntersuchungen am entwickelten Modell, um zu untersuchen, welchen Einfluß die Verteilungsparameter und -typen auf die Ergebnisse der Modellexperimente haben.

Tafel 2. Einige Zustandsgrößen

a) stetige Zustandsgrößen
- Pfannenvolumen
- Zeit bis Fertigstellen der Schmelze
- Zeit bis Bereitstehen Kran
- Zeit bis Beendigung Abstellzeit
- Zeit bis Beendigung Operation Gießplatz

b) diskrete Zustandsgrößen

– Zustand des SM-Ofens:	0 — Ofen in Chargierphase
	1 — Ofen in Schmelzphase
	2 — Ofen wartet auf Chargierfortsetzen
– Zustand der Schmelze:	0 — Schmelzprozeß
	1 — abstichbereit
– Zustand Gießkran:	0 — frei
	1 — Bereitstehen
	2 — Vergießen
	3 — Pfannenvorbereitung
	4 — Transport
	5 — Abstich
– Zustand Gießplatz:	0 — frei
	1 — Vergießen
	2 — Warten auf Lokomotive
	3 — Warten auf Gießzug
– Zustand Gießpfanne:	0 — frei
	1 — besetzt
	2 — Abkühlen
	3 — Vorbereitung
– Zustand Pfannenbock:	0 — frei
	1 — besetzt

- Nr. der Gießpfanne auf Arbeitsbock
- Anzahl Abstiche Gießpfanne
- Lage Kran in Sektoren

3. Modellbildung

3.1. Analytisches Grobmodell

Das entwickelte analytische Modell [1] besteht aus der Modellierung des mittleren Verhaltens der Flüsse im untersuchten System. Dabei gilt für $t > T$ [2] (Bild 2):

$$E\{y(t)\} = \int_0^t x(s)\,\varphi(t-s)\,\mathrm{d}s\,,$$

wobei:

$x(t)$ Intensität des Eingangsflusses $(x(t) = 0;\ t < 0)$,
$y(t)$ Intensität des Ausgangsflusses $(y(t) = x(t-\tau))$,
τ Zeit zur Realisierung der Operation,
$\varphi(\tau)$ Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von τ
$(\varphi(\tau) = 0; \tau \notin [0, T])$.

Eine Anwendung dieses Prinzips auf die stark vereinfachte Struktur des Gießbetriebs erlaubt die Erarbeitung eines analytischen Modells, das im eingeschwungenen Zustand, z. B. mit Hilfe der nichtlinearen Optimierung, die Ermittlung der Präferenzen in den Zuordnungen von Öfen und Kränen ermöglicht. Dabei ergeben sich aufgrund der im Interesse einer hohen Rohstahlproduktion geringen Auslastung der den Öfen nachgelagerten Anlagen (Krane, Gießstrecken u. a.), die dem starken stochastischen Charakter der ablaufenden Prozesse unterworfen sind, keine eindeutigen Lösungen. Insbesondere lassen sich mit derartigen mittleren Aussagen im eingeschwungenen Zustand keine Aussagen zur Effektivität von Steuerstrategien in kritischen Belastungssituationen, d. h. zur operativen Produktionslenkung, treffen.
Die Erfahrungen zeigen jedoch, daß es empfehlenswert ist, durch derartige näherungsweise analytische Beschreibungen des zu untersuchenden Systems erste Vorstellungen über die zweckmäßigste Gestaltung und Steuerung des Systems zu erhalten. Derartige Grobmodelle sind geeignet zur Grobdimensionierung des Systems, zur Bewertung struktureller Änderungen, z. B. Erweiterungen oder Veränderung der Produktionskapazität, u. a.

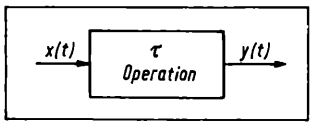


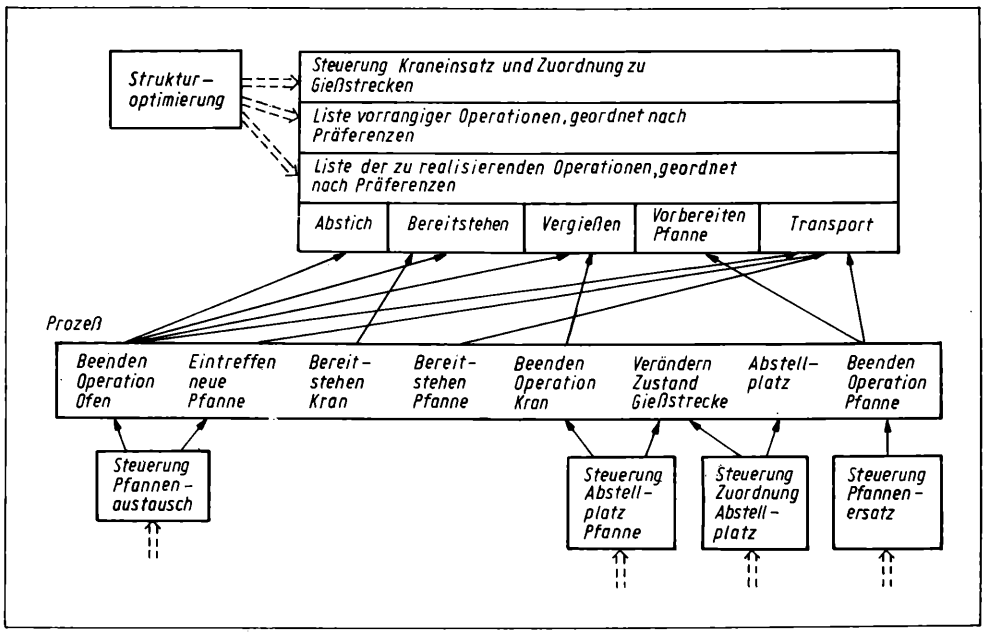
Bild 2. Modell einer zeitabhängigen Operation

3.2. Algorithmisches Prozeßmodell

Eine für die Zwecke der Produktionslenkung notwendige detaillierte Prozeßbeschreibung führt auf die algorithmische Modellierung. Bei der Abbildung dieses komplizierten Systems in ein algorithmisches Modell zeigt sich, daß insbesondere für die Abbildung komplizierter Entscheidungssituationen, wie der Berücksichtigung, daß die Kranwege sich nicht kreuzen, die Krane sich bei der Durchführung der entsprechenden Operationen, wie Abstich, Vergießen, Bereitstehen, Vorbereitung der Pfannen u. a., gegenseitig behindern (s. Tafel 1), in den vorliegenden Simulationspaketen kaum entsprechende Prozeduren vorhanden sind. Die Einpassung zusätzlicher Programmteile ist mitunter kompliziert und erfordert detaillierte Kenntnis der Syntax der Sprache und Programmlogik [3]. Bei häufiger Nutzung derart umfangreicher Modelle entstehen darüber hinaus Rechenzeitprobleme infolge der im Allgemeinheitsgrad der Sprache begründeten Redundanzen, die durch ein auf das konkrete Problem zugeschnittenes Programmieren vermieden werden können.
Es wurde deshalb der teilweise erhebliche Programmier- und Testaufwand in Kauf genommen und eine Entwurfsmethodik angewendet, die auf der Theorie der dynamischen Systeme und der Anwendung der Entscheidungstabellentechnik beruht [4].
Das entwickelte Modell enthält mehr als 50 Zufallsgrößen, 200 Zustandsgrößen, 240 Variable und über 500 Konstanten. Das PL 1-Programm besteht aus einem Hauptprogramm, das die Aufgabe hat, die jeweilige aktuelle Modellsituation zu erkennen, und 20 Unterprogrammen (s. Bild 3). Als charakteristische Situationen, denen entsprechende Unterprogramme zur Realisierung der erforderlichen Flußgrößen zugeordnet sind, ergeben sich entsprechend den gewählten Zustandsgrößen:

- Bearbeitung von Aufträgen (entsprechend festzulegender Prioritäten), die auf ihre Realisierung bereits warten

Bild 3. Programmstruktur des algorithmischen Prozeßmodells



— Beendigung der Schmelzzeit bzw. Abstichzeit

— Beginn der Bereitschaftszeit für den Kran

— Beginn der Bereitschaftszeit für die Pfanne

— Kran beendet die laufende Operation (Transport, Vergießen u. a.)

— Gießplatz wird frei

— Lokomotive beendet laufende Operation

— Abstellplatz wird frei

— Ausfall einer Gießpfanne

— Eintreffen einer neuen Pfanne

— Vergießen wird im 1., 2., 3. Gießgespann oder im Restgespann beendet.

Darüber hinaus existieren ein Steuerprogramm, mit dem der operative Gießkraneinsatz realisiert wird, sowie weitere Steuerprogramme für den Gießpfannenaustausch u. a., Hilfsprogramme, z. B. zur Realisierung von Zufallsgrößen, zur Auswertung, zur Eingabe sowie zur Schrittweitensteuerung, die ereignisorientiert erfolgt.

3.3. Validierung

Entscheidend für den praktischen Wert der algorithmischen Modelle ist die ausreichende Übereinstimmung zwischen realem Prozeß und Modellprozeß. Diese Abbildungstreue muß insbesondere bei komplizierten, schwer überschaubaren Prozessen kritisch überprüft und die Modellgültigkeit nachgewiesen werden. Neben dem erkenntnistheoretischen Problem der Wahrheit eines Modells und der Möglichkeit der Überprüfung der Wahrheit eines Modells anhand der im Modellbildungsprozeß getroffenen Hypothesen und Modellannahmen geht es bei der Durchführung von Modellexperimenten und der Anwendung der erhaltenen Ergebnisse in der Praxis insbesondere um den pragmatischen Aspekt der Brauchbarkeit eines Modells. Gelingt es nicht, Modellaussagen zu finden, die mit der objektiven Realität in Widerspruch stehen, so gibt es keinen Grund, die Glaubwürdigkeit eines Modells anzuzweifeln.

Im untersuchten Stahlwerkmodell ist die tägliche Rohstahlproduktion eine Zufallsgröße. In den durchgeführten Modellexperimenten interessieren solche Kenngrößen, wie mittlere Rohstahlproduktion, mittlere Auslastung der Anlagen u. a. Aus diesem Grunde ist die Übereinstimmung von Modell und Realität insbesondere bezüglich der stochastischen Eigenschaften zu überprüfen. Dementsprechend wurde die tägliche Rohstahlproduktion für ein halbes Jahr ausgewertet und mit den Ergebnissen der Modellexperimente verglichen. Bild 4 zeigt die empirische Verteilungsfunktion. Es zeigt sich, daß die Hypothese, daß beide Stichproben der gleichen Grundgesamtheit angehören, für verschiedene statistische Testverfahren in keinem Fall abgelehnt werden konnte. Die gleiche Aussage ergab die kumulative Spektraldichte sowie der Vergleich der Spektraldichten.

Weiterhin sind die über diesen Zeitraum für dieses Modell erhaltenen Auslastungskenngrößen und Wartezeiten untersucht worden. Auch diese Angaben sowie die sich ergebende mittlere Überlaufeisenmenge und die Häufigkeitsverteilung der Chargendauer entsprechen den Erfahrungen der Praxis.

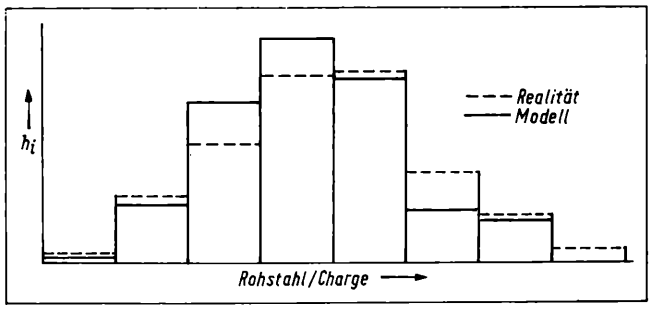
4. Modellexperimente

4.1. Planung, Organisation und Auswertung der Modellexperimente

Aus den Untersuchungen in Abschn. 3.3. folgt, daß die mit dem Modell erhaltenen Ergebnisse den praktischen Erfahrungen nicht widersprechen bzw. bei Anwendung statistischer Testverfahren ein signifikanter Unterschied der stochastischen Eigenschaften nicht feststellbar ist. Damit ist es möglich, Modellexperimente durchzuführen.

Zur Lösung des Widerspruchs zwischen leistungsfähiger Rechentechnik einerseits und einer zeitraubenden, auf mehr oder weniger systematischen Probierverfahren aufbauenden Experimentiermethodik andererseits, wird eine Methode der Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente an derartigen

Bild 4. Empirische Verteilungsfunktion der täglichen Rohstahlproduktion



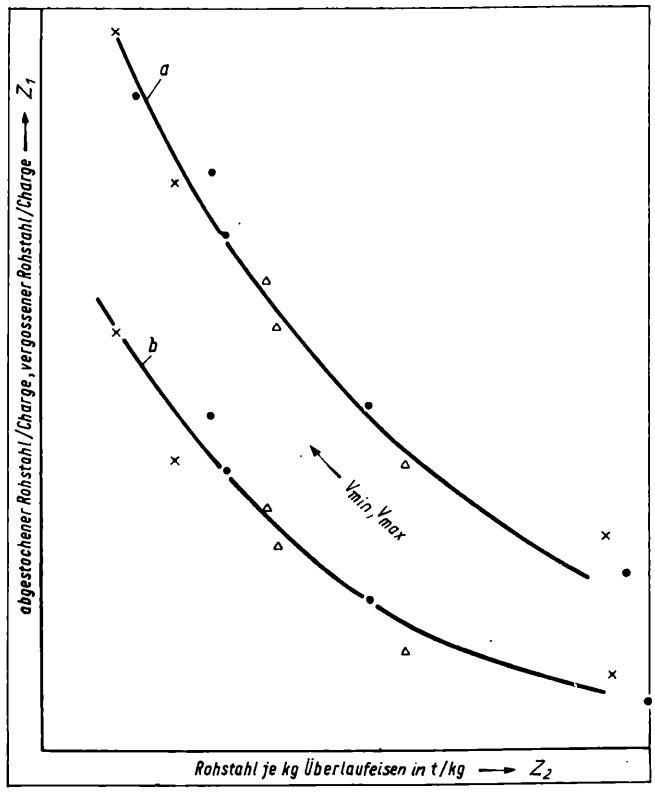


Bild 5. Darstellung der Menge effizienter Lösungen

komplizierten Modellen erforderlich. Bei der Lösung einer Vielzahl praktischer relativ „kleiner" Aufgabenstellungen, z. B. Ermittlung von Instandhaltungsstrategien, Ermittlung von Lagerhaltungsstrategien u. a., fanden simultane und sequentielle Suchpläne erfolgreich Anwendung. Die Anwendung derartiger Verfahren auf das entwickelte Modell des Gießbetriebs scheitert jedoch aufgrund der hohen Rechenzeit, die bei der Realisierung eines Simulationslaufs auf der EC 1020 erforderlich ist (für ein Simulationsintervall von einem Monat 3 Stunden Rechenzeit).

4.2. Ermittlung der geplanten Chargenmenge

Neben der Gesamtdurchlaufzeit der Chargen wird die Leistung des SM-Stahlwerkes auch durch die mittlere Abstichmasse einer Charge beeinflußt. Für eine neu zugestellte Gießpfanne ist das Fassungsvermögen definiert, es nimmt aber infolge des Verschleißes der Pfannenauskleidung von Abstich zu Abstich zu. Die Chargenmenge wird in Abhängigkeit vom Fassungsvermögen der Gießpfanne geplant. Fällt eine Gießpfanne aus, reicht bei Ersatz durch eine neue Pfanne das Fassungsvermögen der neuen Pfanne nicht aus, es entsteht Überlaufeisen. Durch verschiedene Strategien des Pfannenaustauschs kann die Menge des anfallenden Überlaufeisens reduziert werden. Darüberhinaus kann man diese Menge durch eine geeignete Planung der Chargenmenge in Abhängigkeit vom aktuellen Pfannenvolumen steuern. Zu diesem Zweck wird die geplante Chargenmenge V_{pl} folgendermaßen bestimmt:

$$V_{pl} = \begin{cases} V & V < V_{max} \\ V_{min} & V \geqq V_{max} \end{cases}.$$

V aktuelles Pfannenvolumen

Die Parameter V_{min} und V_{max} werden so bestimmt, daß das verschenkte Pfannenvolumen sowie das Überlaufeisen bei möglichst großer Menge des abgestochenen Rohstahls gering werden. Experimente wurden für verschiedene Parameter V_{min} und V_{max} durchgeführt. Das vorliegende Problem der maximalen Rohstahlproduktion bei minimalem Überlaufeisen ist ein Problem der Polyoptimierung mit den Zielen:

Z_1: maximale Rohstahlproduktion je Charge

Z_2: maximale Rohstahlproduktion je kg Überlaufeisen.

Die effiziente Menge ist im Bild 5 dargestellt. Diese Abbildung enthält die mittlere abgestochene Rohstahlmenge je Charge (a) sowie die mittlere vergossene Rohstahlmenge je Charge (b) (d. h. die um die Überlaufeisenmenge reduzierte, an das Walzwerk übergebene Rohstahlmenge je Charge). Ausgehend von praktischen Erwägungen kann mit dieser Kurve zu einer vorgegebenen zulässigen mittleren Überlaufeisenmenge die maximal erreichbare mittlere Rohstahlmenge je Charge bestimmt werden.

4.3. Einführung einer Reservepfanne

Die durchgeführten Modellexperimente hatten zu begründen, ob die Einführung einer Reservepfanne zweckmäßig ist. Diese Reservepfanne kann entsprechend den technologischen Bedingungen an unterschiedlichen Plätzen im Gießbetrieb aufgestellt werden. Ihr Einsatz wird entsprechend einer Strategie des Pfannenaustausches geregelt.

Die durchgeführten Modellexperimente lassen Schlußfolgerungen über den geeigneten Aufstellplatz und die günstigste Austauschstrategie zu. Dabei zeigt sich gleichzeitig, daß die Wartezeiten, die in den einzelnen Varianten auftreten, wesentlich stärker durch den Gießkraneinsatz (z. B. Schmelze wartet auf Vergießen) beeinflußt werden. Gelingt es, diese Wartezeiten durch geeignete Strategien des Gießkraneinsatzes zu reduzieren, so gewinnt die Strategie des Pfannenaustauschs und -ersatzes zunehmend an Bedeutung.

Schlußfolgerungen

Die Lösung derartiger Aufgabenstellungen in einem komplizierten System führt über den Rahmen der Theorie der Optimierung, der Steuerung u. a. hinaus und erfordert eine Behandlung der Systemanalyse, bei der die hohe Dimension des Problems, die komplizierte und variable Zuordnung der Systemelemente, die vorhandene Stochastik u. a. berücksichtigt werden. Eine wesentliche Besonderheit des Herangehens besteht darin, daß die Entwicklung von Alternativen, ihre Bewertung sowie die Selektion einer Strategie durch den Menschen mit Hilfe von Modellexperimenten erfolgt.

Die Effektivität des Gesamtprozesses wird maßgeblich von der Qualität der operativen Lenkung des Gießkraneinsatzes beeinflußt, deren Aufgabe darin besteht, die von den einzelnen Gießkranen auszuführenden Tätigkeiten zeitlich und räumlich so aufeinander abzustimmen, daß Wartezeiten im gesamten Produktionsverlauf so gering wie möglich gehalten werden. Durch entsprechende Modellexperimente sollen diese Strategien ihre Bewertung erfahren.

Literatur

[1] *Matthes, B.; Müller, J.-A.:* Modellierung des Produktionsablaufs in einem Stahlwerk und Möglichkeiten der Strukturoptimierung. Forschungsinformationen Leitung, Informationsverarbeitung und Statistik, Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" Berlin (1979) S. 198–216.
[2] *Müller, J.-A.:* Zur dynamischen Modellierung von zeitabhängigen Elementarprozessen. msr 16 (1973) H. 12, S. 446–448.
[3] *Klinkmüller, B.:* Vergleichende Betrachtungen zwischen den Simulationssprachen VOPS SIMDIS und HIESIM. Diplomarbeit, IH Dresden 1976.
[4] *Müller, J.-A.:* Zur Bewertung von Varianten der Intensivierung der sozialistischen Produktion mit Hilfe algorithmischer Modelle. Wiss. Ztschr. der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" Berlin (1977) H. 1, S. 24–40.

msr 7615

Industrierobotersteuerungen 3

Werden weitere Organisationsbefehle und die Möglichkeit ihrer Verarbeitung vorgesehen, so kommt man zur Programmsteuerung mit programmierbarem Programmablauf (Bild 1.7). Hier muß vor der Ausführung jedes Befehles geprüft werden, ob er als funktioneller Befehl der Funktionssteuerung oder als organisatorischer Befehl der Programmablaufsteuerung zur Ausführung zugeleitet wird. Dafür ist eine Funktionsgruppe „Dekodierung" innerhalb des Prozessors zuständig. Funktionelle Befehle lösen eine Bewegung oder Aktion des Industrieroboters unmittelbar aus. Typische Beispiele sind:

- Bewegungsbefehle:
  - Bewege Achse X bis zum Endpunkt
  - Fahre auf einer Geraden vom aktuellen Raumpunkt bis zum Punkt (X_E, Y_E, Z_E).
- Aktionsbefehle:
  - Greifer auf
  - Schalte Steuerleitung Nr. N ein.
- Wartebefehle
  - Setze den Programmablauf nach n Sekunden fort
  - Warte, bis Steuerleitung Nr. N eingeschaltet wird.

Organisatorische Befehle wirken auf den Programmablauf. Ihre Ausführung kann von Bedingungen (Erreichen vorgegebener Zustände des Gesamtsystems) abhängig sein. Zu ihrer Ausführung verfügt die Programmablaufsteuerung über einen einstellbaren Befehlszähler und Funktionsgruppen, die in Abhängigkeit vom auszuführenden Befehl und den erfüllten Bedingungen entscheiden, welcher Adreßwert in den Befehlszähler eingetragen und welcher Befehl damit als nächster Befehl ausgeführt wird. Typische Beispiele für organisatorische Befehle sind:

- Sprungbefehle:
  - Setze das Programm bei Befehl Nr. A fort
  - Setze das Programm bei Befehl Nr. B fort, wenn Signalleitung Nr. N eingeschaltet ist.
- Unterprogramm — Aufrufbefehle und Rückkehrbefehle
  - Rufe das Unterprogramm mit Namen U auf
  - Kehre ins Hauptprogramm zurück.

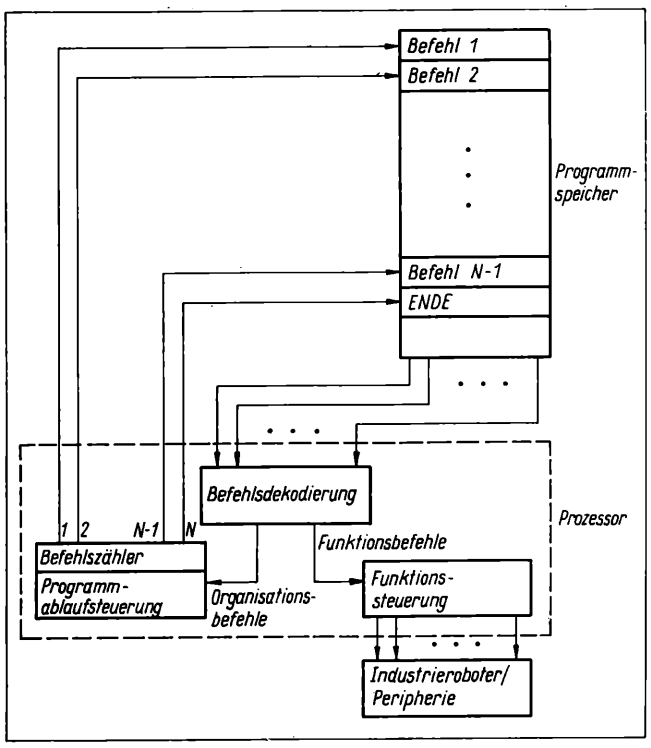


Bild 1.7. Programmsteuerung mit programmierbarem Programmablauf (nach [1.1])

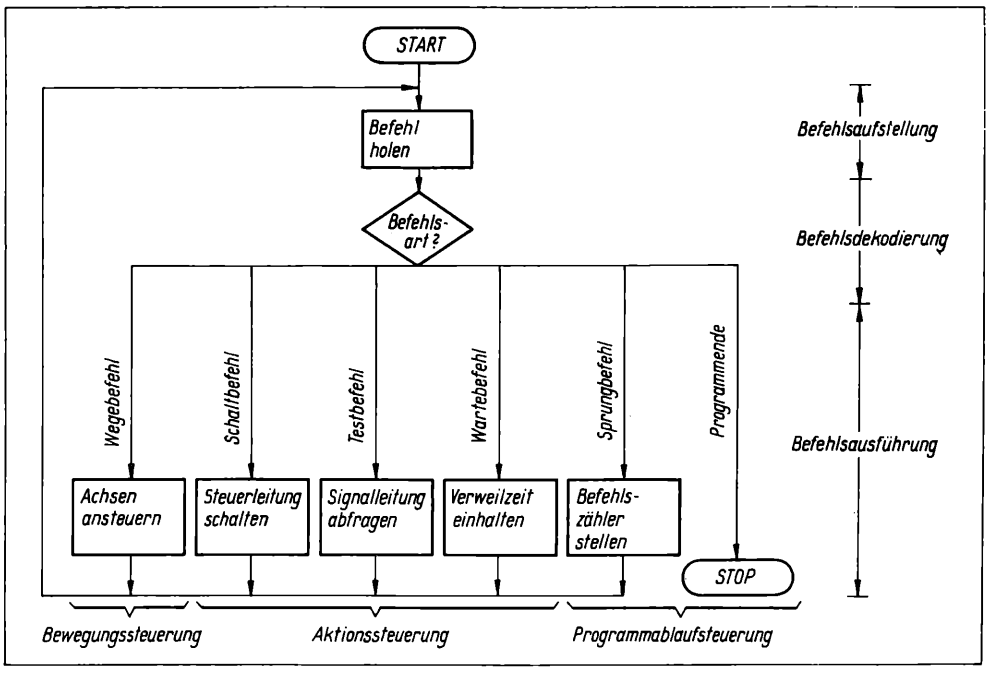


Bild 1.8. Befehlsabarbeitung in einer IR-Steuerung ▶

Die grundsätzliche Befehlsabarbeitung in einem programmierbaren System nach Bild 1.7 ist im Bild 1.8 dargestellt. Sie gliedert sich in die Phasen:

- Befehlsaufstellung, bei der der Befehl in die verarbeitende Einheit (Prozessor) geholt wird
- Befehlsdekodierung und -ausführung, bei der der Befehl zuerst entschlüsselt und anschließend an die betroffene Funktionsgruppe zur Ausführung weitergeleitet wird.

Die Befehlsaufstellung ist immer eine Transportoperation aus dem Programmspeicher in den Prozessor, die Dekodierung wird im Prinzip durch eine Mehrfachverzweigung realisiert, und die Ausführung besteht in der Regel in einer Folge von numerischen und nichtnumerischen Operationen in der Programmablauf- oder in der Funktionssteuerung. Für die Programmabarbeitung gelten auch in einer Robotersteuerung die von Neumannschen Prinzipien für programmgesteuerte Automaten, die wie folgt lauten:

- Ein programmgesteuerter Automat arbeitet nach einem gespeicherten Programm, das sich aus einzelnen Befehlen zusammensetzt
- Befehle und Daten stehen in gleicher Weise als kodierte Informationen im Speicher
- Jeder Speicherplatz erhält eine Adresse, auf die im Programm Bezug genommen wird
- Das Programm wird im Speicher unter aufeinanderfolgenden Adressen abgelegt und i. allg. auch in dieser „natürlichen" Reihenfolge abgearbeitet
- Von der natürlichen Reihenfolge wird bei der Ausführung von Sprungbefehlen abgewichen
- Es gibt bedingte Befehle, die eine Steuerung des Programmablaufes in Abhängigkeit von Ergebnissen logischer Entscheidungen gestatten.

Mit der aufgezeigten engen Strukturverwandtschaft zwischen programmierbaren (Industrieroboter-) Steuerungen und digitalen Rechenautomaten stehen die Prinzipien, die für die Rechentechnik in einer Entwicklung über mehr als drei Jahrzehnte entwickelt worden sind, in der Roboter-Steuerungstechnik potentiell zur Nutzung zur Verfügung. Somit ist auch der gegenwärtig zu beobachtende Trend des Überganges auf höhere Sprachniveaus bei der Programmierung von Industrierobotern eine natürliche Fortentwicklung, die durch die Rechentechnik deutlich vorgezeichnet ist.

1.4. Dialogsteuerung und Betriebsarten

Im Bild 1.9 ist die prinzipielle Gesamtstruktur der Steuerung eines autonom arbeitenden Industrieroboters noch einmal zusammenfassend dargestellt. Die wesentlichsten Informationsflüsse zwischen den Funktionseinheiten sind eingetragen. Deutlich zu erkennen sind die Hierarchie-Ebenen aus Bild 1.4 und die Zweiteilung der Funktionssteuerung nach Bild 1.5. Mit „IR-Grundgerät (unten links im Bild) ist der kinematische Teil des Roboters bezeichnet, der die Bewegungen ausführt, und unter den „technologischen Effektoren" (im Bild unten rechts) sollen alle Elemente verstanden werden, die technologisch relevante Aktionen ausführen. Solche Elemente können sich am Grundgerät selbst (Greifer, Schweißzange) oder in der Peripherie (automatische Spanneinrichtung, Schwenktisch) befinden.
Die Dialogsteuerung nimmt eine zentrale Stellung ein. Sie enthält Funktionsgruppen zur

- Kommunikation mit dem Bediener/Programmierer über das Bedienfeld
- Wahl bzw. Einstellung der Betriebsart
- Eingabe, Testung und Korrektur des Programmes (das sogenannte Programmiersystem)
- Überwachung und Diagnose des Gesamtsystems Grundgerät — Steuerung — Peripherie.

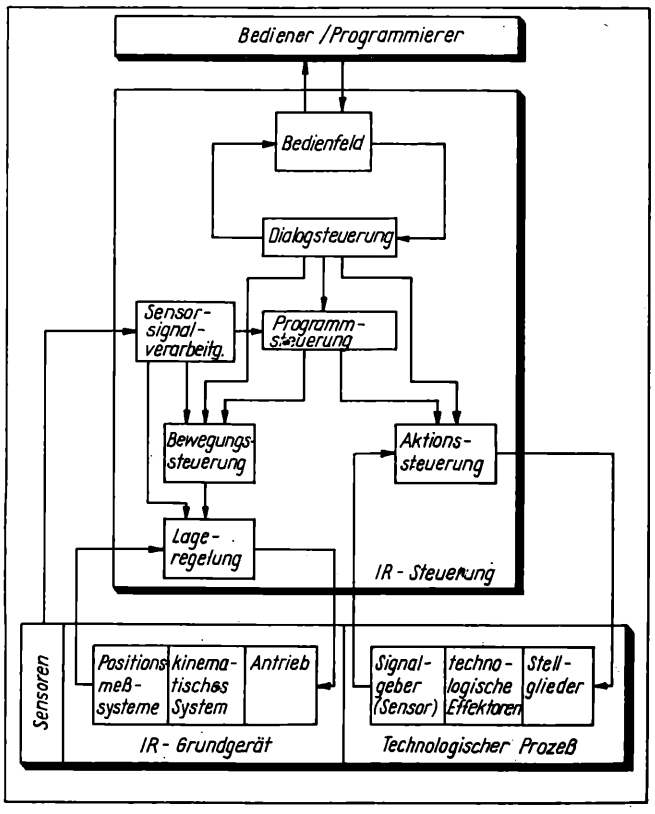


Bild 1.9. Gesamtstruktur einer Robotersteuerung mit den wesentlichsten Informationsflüssen

Diese Funktionsgruppen sind bei verschiedenen Steuerungstypen unterschiedlich ausgebaut und können auch ganz fehlen, die beiden ersten Funktionen sind jedoch immer vorhanden. Die Betriebsarten von Industrierobotersteuerungen werden je nach Steuerungstyp und -hersteller unterschiedlich festgelegt. Als Hauptbetriebsarten finden sich in der Regel:

Programmieren
- Arbeiten
- Halt.

Bei anspruchsvolleren Steuerungen gehört zu jeder Hauptbetriebsart ein mehr oder weniger gestaffeltes System von Unterbetriebsarten. Einige Möglichkeiten sollen nachstehend aufgeführt werden:

Programmieren

Diese Hauptbetriebsart dient zur Erzeugung eines ablauffähigen Roboterprogramms im Arbeitsspeicher der Programmsteuerung. Sie kann in die Unterbetriebsarten

- Programmeingabe, bei der das eigentliche Programmieren erfolgt oder das Programm von einem externen Datenträger (z. B. Magnetbandkassette) eingegeben wird
- Programmtest und -korrektur, bei denen über das Bedienfeld Zugriff zum Arbeitsspeicher besteht und einzelne Befehle geändert, hinzugefügt oder aus dem Programm entfernt werden können. Daneben kann das Programm schrittweise unter Bedienerführung bei wahlweise zu- oder abgeschalteten Antrieben und technologischen Effektoren ausgeführt werden.

msr 7680 Prof. Dr. sc. techn. *W. Schwarz*
IH Mittweida

(wird fortgesetzt)

Dipl.-Math. *D. Biedermann*, Magdeburg[1])

Strukturierung eines robusten dezentralen Störgrößenkompensators

IA 2.3.1.6.

0. Einleitung

Die statische Invarianz einer meßbaren Ausgangsgröße eines linearen zeitinvarianten Systems gegenüber Sprungstörungen kann bekanntlich durch eine proportional-integrale Rückführung dieser Meßgröße erzielt werden. Mit dem Vorhandensein mehrerer auszuregelnder Prozeßgrößen eröffnet sich die Frage nach den geeigneten Anschlußstellen der Integrierer an meßbare Ausgangsgrößen, denn jede nicht erforderlich hohe Anzahl von eingesetzten Integrierern erschwert unnötig die Stabilisierung des Systems durch das Hinzukommen instabiler Eigenwerte (Pole) $\lambda = 0$ zur Strecke. Aus diesem Grund ist eine möglichst geringe Integriererzahl anzustreben. Weiterhin kann bei Kenntnis des Störeingangsortes in die Strecke und bei entsprechend scharf gewählter Strukturbeschränkung in Richtung lokaler Ausgangsrückführung (SBA) die statische Invarianz u. U. auch für nichtmeßbare Regelgrößen bzw. solche Meßgrößen erzielt werden, die nicht integriert auf eine Stellgröße zurückgeführt werden. Die Behandlung des Problems der geeigneten Anschlußstellen ist offenbar eng verknüpft mit der Frage, von welcher Meßgröße auf welche Stellgröße ein Signal zurückgeführt werden darf bzw. unbedingt zurückzuführen ist.

Angenommen, für ein konkretes System wurde durch den Einsatz integrierender Rückführungen die statische Invarianz von Prozeßgrößen gegenüber Sprungstörungen erzielt, dann ist bekanntlich die Erfüllung dieser Eigenschaft für alle nur möglichen Zahlenwerte der nichtverschwindenden Strecken- und Reglerparameter gewährleistet, für die der Regelkreis ein stabiles System darstellt. Die Frage nach einer geeigneten SBA und den entsprechenden Anschlußstellen der Integrierer an die Meßgrößen der Strecke stellt folglich ebenso ein strukturelles Problem dar wie die Eigenwertverschiebbarkeit [5] bis [7] oder das in [4] behandelte Problem der Steuerbarkeit der Strecke bei eventuellem Ausfall einzelner Signalflüsse und Teilstrecken. Der ausführliche Bericht zu vorliegendem Informationsartikel enthält den Beweis zu einer notwendigen und hinreichenden Bedingung über die statische Invarianz von Regelgrößen gegenüber deterministischen Störungen. Zur Anwendung des Kriteriums brauchen die Zahlenwerte der nichtverschwindenden Parameter nicht bekannt zu sein. Den Untersuchungsgegenstand bildet lediglich der Signalverlauf in Strecke und Regler.

1. Aufgabenstellung und Systembeschreibung

Im folgenden wird von einer in Zustandsraumbeschreibung vorliegenden Regelstrecke ausgegangen, über deren Matrizenelemente nur bekannt ist, welche von ihnen gleich Null und welche verschieden von Null sind. Eine Kenntnis der Zahlenwerte der nichtverschwindenden Elemente ist nicht erforderlich.

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{E}\boldsymbol{z}(t) + \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{B}_i \boldsymbol{u}_i(t)\,, \tag{1}$$

$$\boldsymbol{y}_i(t) = \boldsymbol{C}_i\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{H}_i\boldsymbol{z}(t) + \boldsymbol{D}_i\boldsymbol{u}_i(t)\,, \qquad (i = 1, 2, \ldots, N)\,. \tag{2}$$

Hierbei stellen $\boldsymbol{x} = [x^1, x^2, \ldots, x^n]^T$ den Zustandsvektor, $\boldsymbol{z} = [z^1, z^2, \ldots, z^l]^T$ den Störvektor, $\boldsymbol{u}_i = [u_i^1, \ldots, u_i^m]^T$ die N Steuervektoren und $\boldsymbol{y}_i = [y_i^1, \ldots, y_i^{r_i}]^T$ die N Meßvektoren dar.

Jede skalare Regelgröße $r(t)$ wird als

$$r(t) = c^r\boldsymbol{x}(t) + h^r\boldsymbol{z}(t) + \sum_{i=1}^{N} b_i^r \boldsymbol{u}_i(t) \tag{3}$$

beschrieben.

Offenbar läßt sich eine statische Invarianz gegenüber nichtsprungförmigen und nichtrampenförmigen Störungen i. allg. nicht durch den Anschluß „reiner" Integrierer erzielen. An ihre Stelle treten Verzögerungsglieder 1. Ordnung und Schwingungsglieder, die gegebenenfalls hintereinander zu schalten sind. Im Unterschied zu den Streckenparametern in den Gln. (1) und (2) müssen die Koeffizienten der störgrößenbeschreibenden Dgln. genau bekannt sein, um die Lösungen ihrer charakteristischen Gleichungen exakt bestimmen und daraus die Zeitkonstanten und Dämpfungen der störgrößenausregelnden Verzögerungs- und Schwingungsglieder genau einstellen zu können. An alle übrigen Reglerparameter besteht lediglich die Forderung nach Gewährleistung der Stabilität des geschlossenen Regelkreises.

Definition:

Die skalare Regelgröße $r(t)$ ist statisch invariant gegenüber der deterministischen Störung $z^k(t)$, wenn für $z^j(t) \equiv 0$ $(j = 1, 2, \ldots, k-1, k+1, \ldots, l)$ und für beliebige Werte der nichtverschwindenden Strecken- und Reglerparameter, ausgenommen die Zeitkonstanten und Dämpfungen der störgrößenausregelnden Glieder, $r(t) \to 0$ $(t \to \infty)$ gilt.

Für die Lösung des Problems der statischen Invarianz von Prozeßgrößen gegenüber deterministischen Störungen sind somit folgende Fragen zu klären:

- An welche meßbaren Streckenausgänge ist ein Anschluß störgrößenausregelnder Glieder vorzusehen?
- Von welcher Meßgröße eines Vektors $\boldsymbol{y}_i$ ist ein Signalfluß nach welcher Stellgröße des zugehörigen Vektors $\boldsymbol{u}_i$ durch (eventuell dynamische) Ausgangsrückführung unbedingt herzustellen?
- Von welcher Meßgröße nach welcher Stellgröße darf keinesfalls ein Signalfluß durch Rückführung hergestellt werden?

Insbesondere ist dabei jegliche Ausgangsrückführung von einer Meßgröße des Vektors $\boldsymbol{y}_i$ nach einer Stellgröße des Vektors $\boldsymbol{u}_h$ $(h \neq i)$ als nicht zulässig anzusehen. Die hierdurch a priori gegebene dezentrale Reglerstruktur erfordert somit für die Problemlösung eine weitere Verschärfung der SBA.

Um den Verlauf des Störsignals im Regelkreis im Zusammenhang mit dem oben erwähnten Kriterium erfassen zu können, wird davon ausgegangen, daß alle im Rahmen der SBA zulässigen Signalflüsse zwischen den einzelnen Stell- und Meßgrößen

[1]) Diesem Informationsartikel liegt ein ausführlicher Bericht zugrunde, der in der Deutschen Staatsbibliothek gespeichert ist. Bestellungen über Vervielfältigungen auf xerografischer Grundlage (A4-Positiv-Abzug, kein Mikrofilm) der Arbeit sind an die Deutsche Staatsbibliothek, 1080 Berlin, Unter den Linden 8, zu richten. Dabei ist folgendes Kennwort anzugeben: „Biedermann: Strukturierung Störgrößenkompensator, msr 01/1982".

Mitteilung aus der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion TK/ET, Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen.

vorübergehend gedanklich hergestellt worden sind. In diesem Zusammenhang bietet sich eine graphentheoretische Systembeschreibung an.

Zu bilden ist ein Graph, dessen Knoten durch die Komponenten der Vektoren $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{z}$, $\boldsymbol{u}_i$, $\boldsymbol{y}_i$ und durch die Regelgrößen r repräsentiert werden und dessen Zweige nach folgender Vorschrift festgelegt sind: Der Graph enthält einen Zweig vom Knoten x^h, z^h bzw. u_i^h nach dem Knoten x^j genau dann, wenn der Koeffizient vor x^h, z^h bzw. u_i^h in der j-ten Zustandsgleichung aus Gl. (1) verschieden von Null ist. Er enthält einen Zweig vom Knoten x^h, z^h bzw. u_i^h nach dem Knoten y_i^j genau dann, wenn der Koeffizient vor x^h, z^h bzw. u_i^h in der j-ten Gleichung für $\boldsymbol{y}_i$ des Systems (2) verschieden von Null ist. Auf gleiche Weise ergeben sich gemäß Gl. (3) die Zweige nach dem Knoten r. Die hieraus ableitbaren Begriffe eines Pfades und eines Zyklus sind im Sinne von [3] anzuwenden. Insbesondere soll unter einem Störsignalpfad ein Pfad vom Knoten der Störgröße z^k nach der Regelgröße r verstanden werden (für fixierte Größen z^k und r existieren u. U. mehrere Störsignalpfade). In Analogie dazu wird ein Pfad vom Knoten einer Meßgröße des Vektors $\boldsymbol{y}_i$ nach dem Knoten einer Stellgröße des zugehörigen Vektors $\boldsymbol{u}_i$ Reglerpfad genannt, sofern er keinen Knoten einer Zustandsgröße durchläuft.

O. E. d. A. kann angenommen werden, daß alle reellen Lösungen μ_j ($j = 1, 2, \ldots, s$) und alle konjugiert komplexen Lösungspaare $\lambda_j, \bar{\lambda}_j$ ($j = s+1, s+2, \ldots, s+p$) der charakteristischen Gleichung für die die Störung $z^k(t)$ beschreibende Dgl. der geschlossenen rechten Hälfte der komplexen Zahlenebene angehören. Jeder Lösung bzw. jedem Lösungspaar entspricht ein Integrierer oder ein Verzögerungsglied 1. Ordnung bzw. ein Schwingungsglied. Die Gesamtheit der $s + p$ Glieder wird im folgenden als Satz störgrößenausregelnder Glieder bezeichnet. Jedes von ihnen erzeugt einen Servoknoten im Graphen. Alle gemeinsam bilden einen Satz von Servoknoten. Als Restzyklus bez. eines Störsignalpfades wird ein Zyklus bezeichnet, der aus insgesamt wenigstens zwei Knoten von Zustandsgrößen und/oder Servoknoten besteht und der keinen Knoten mit dem Störsignalpfad gemeinsam hat.

2. Hauptresultate

Satz 1:

Gegeben sei die durch störgrößenausregelnde Glieder ausgangsseitig erweiterte Regelstrecke. Die statische Invarianz von $r(t)$ gegenüber $z^k(t)$ kann durch Anschluß eines Stabilisierungskompensators dann und nur dann nicht gewährleistet werden, wenn entweder die erweiterte Strecke nicht dezentral stabilisierbar ist oder wenn sich nach gedanklicher Herstellung aller im Rahmen der SBA zulässigen Signalverläufe von den Meßgrößen nach den Stellgrößen ein Störsignalpfad finden läßt, für den nach Abzug aller der ihm angehörenden Knoten und aller in seinen Restzyklen vorkommenden Knoten kein Satz von Servoknoten weiterhin im Graphen verbleibt.

Folgerung 1:

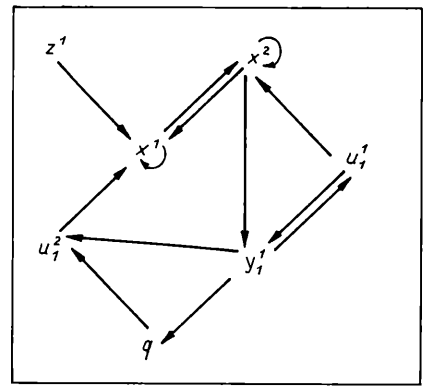
Führt im stabilisierten System ein Reglerpfad von y_i^h nach u_i^q, der wenigstens einen Servoknoten durchläuft, so wird durch Hinzufügen oder Weglassen eines Zweiges von y_i^h nach u_i^q die Eigenschaft der statischen Invarianz nicht beeinträchtigt, sofern die Stabilität des Systems gewährleistet bleibt.

Folgerung 2:

Ist die Zustandsgröße $r(t)$ im stabilisierten System nicht statisch invariant gegenüber $z^k(t)$, so wird sie es auch nicht durch Hinzufügen von proportionalen Rückführungen, selbst dann nicht, wenn letztere einen Signalfluß zwischen bisher nicht verbundenen Meß- und Stellgrößen hervorrufen.

Eine Abschwächung der SBA bei gleichbleibender Anordnung der störgrößenausregelnden Glieder führt folglich keinesfalls zum Erreichen von statischer Invarianz; im Gegenteil, durch das Hinzukommen zusätzlicher Störsignalpfade kann eine bisher bestehende statische Invarianz u. U. aufgehoben werden.

Bild.
Graph für das Beispiel



Der ausführliche Bericht enthält weiterhin eine notwendige und hinreichende Bedingung über die dezentrale Stabilisierbarkeit der ausgangsseitig erweiterten Strecke. Das Kriterium läßt sich im Unterschied zum entsprechenden Theorem aus [2] auch auf strukturelle Untersuchungen anwenden.

3. Statische Invarianz für den Sonderfall meßbarer Größen

Da in [2] eine eventuelle Kenntnis des Störeingangsortes keine Berücksichtigung fand, mußte mit einer Störeinwirkung von außen an jeder Stelle der Strecke gerechnet werden. Daraus ergab sich als notwendige Bedingung die Meßbarkeit der Prozeßgrößen für die Gewährleistung ihrer statischen Invarianz. In vorliegendem Beitrag ist die Forderung hinfällig. Sollte jedoch eine Regelgröße meßbar sein, vereinfacht sich Satz 1 wesentlich. Der hierbei nicht erforderlichen Verschärfung der SBA steht der ungerechtfertigt hohe Verbrauch an störgrößenausregelnden Gliedern gegenüber:

Satz 1′: Eine meßbare Regelgröße $r(t)$, an die ein Satz störgrößenausregelnder Glieder angeschlossen worden ist, gewährleistet im stabilen Regelkreis die statische Invarianz gegenüber z^k dann und nur dann, wenn jeder Servoknoten dieses Satzes gemeinsam mit r einem Zyklus angehört.

4. Beispiel

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{B}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{C}_1 = [0 \quad 1], \quad \boldsymbol{D}_1 = [1 \quad 0], \quad \boldsymbol{E} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Die statische Invarianz von $x^1(t)$ gegenüber $z^1(t)$ ist nur dann gewährleistet, wenn kein Reglerpfad von y_1^1 nach u_1^1 gebildet wird, dem der Knoten q des störgrößenausregelnden Integrierers angehört (s. Bild). Die Stabilität des Regelkreises erfordert andererseits, daß der Knoten q gemeinsam mit anderen Knoten einen Zyklus bildet.

Literatur

[1] *Wang, S. H.; Davison, E. J.*: On the Stabilization of Decentralized Control Systems. IEEE Trans. AC-18 (1973) No. 5, pp. 473–478.

[2] *Davison, E. J.*: The Robust Decentralized Control of a General Servomechanism Problem. IEEE Trans. AC-21 (1976) No. 1, pp. 14–28.

[3] *Lunze, J.; Reinschke, K.*: Analyse unvollständig bekannter Regelungssysteme. AdW der DDR: ZKI-Informationen 2/81, Teil 1.

[4] *Reinschke, K.; Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.*: Anwendungen der strukturellen Steuerbarkeit zur Beurteilung von Automatisierungskonzeptionen. msr **24** (1981) H. 10, S. 542–547.

[5] *Biedermann, D.; Korn, U.*: Stabilisierung von Mehrgrößenregelungen durch Strukturbeschränkungen in Richtung lokaler Ausgangsrückführungen. TH „Otto von Guericke" Magdeburg: Forschungsbericht zur FR Regelungssysteme der HFR 1.09, Ereignis-Nr. 2.17/81.

[6] *Biedermann, D.*: Ein Verfahren der dezentralen Eigenwertverschiebung. msr **25** (1982) H. 6, S. 318–321.

[7] *Biedermann, D.*: Dezentralisierung eines stabilisierenden Mehrgrößenreglers. msr (in Vorbereitung).

msr 7704

Meßwerterfassung mit Mikrorechner und Darstellung der Meßwerte auf einem Display

IA 4.0.5.; 4.2.

0. Einleitung

Am Tandemgenerator, einem Teilchenbeschleuniger des ZfK Rossendorf, ist eine sehr große Anzahl von Meßwerten zu überwachen. Diese Prozeßinformationen hat der Operator von konventionellen Anzeigen am Steuerpult, an zahlreichen Steuerschränken sowie von einem großen Schaubild abzulesen.
Ziel ist es, die Informationen über den Zustand des Beschleunigers dem Operator in einer übersichtlicheren Form und mit größerer Genauigkeit zu übergeben. Gleichzeitig soll durch die Einführung dieser neuen Technik die Flexibilität bei der Prozeßzustandsdarstellung erhöht werden, so daß es schneller möglich ist, abgeschlossene Entwicklungen in das System einzubinden. Des weiteren sollen Störungen in ihrem zeitlichen Verlauf auf dem Bildschirm angezeigt werden.

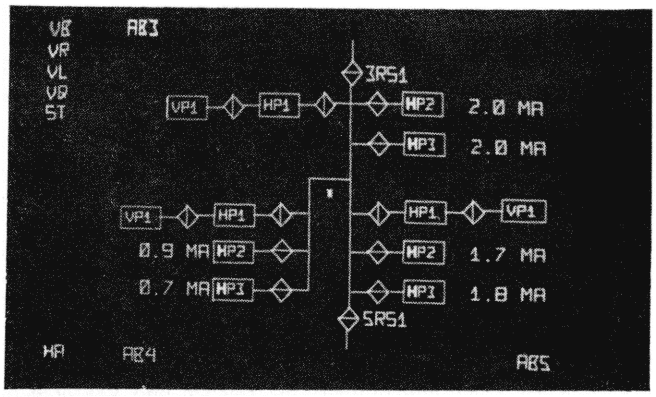


Bild 1. Displaybild „Vakuumanlage des Beschleunigers"

1. Displaydarstellung der Meßwerte in Symbolbildern

Ausgehend von der Zielstellung, die Übersichtlichkeit zu erhöhen, erfolgt die Meßwertdarstellung nicht in Listenform, sondern in Symbolbildern. Das gleiche Ziel verfolgt eine Untergliederung in Teilsysteme (Teilsysteme des Vakuumsystems), die jeweils in einem Bild zu sehen sind. Jedes Bild kann vom Operator mit Lichtstift angefordert werden.

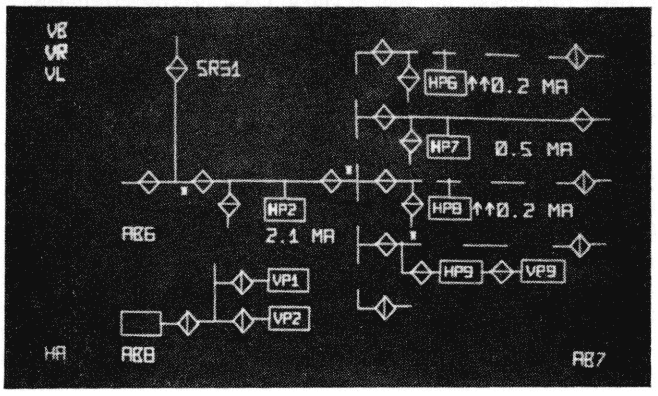


Bild 2. Displaybild „Vakuumanlage Strahlausführung rechte Seite"

(Fortsetzung von Seite 628)

- von den Steuersignalen dienen 2 Eingänge und ein Ausgang zur Kopplung mehrerer Schaltkreise sowie zur Synchronisation von Parallelarbeit
- verwendete Kodierung: umschaltbar 1-aus-8- oder 2-aus-8-Kode
- Anzahl der Produktterme: 140.

Die Realisierung dieses Standardspeichers würde der Zustandsspeicherbaugruppe 2717 (ursalog 4000) eine mikroelektronische Variante mit wesentlichen Erweiterungen in Funktion und Verhalten zur Seite stellen.

Literatur

[1] *Grass, G.:* Steuerwerke. Westberlin/Heibelberg/New York: Springer-Verlag 1978.
[2] *Eckardt, D.; Konrad, E.; Leupold, W.:* Hochintegrierte digitale Schaltungen und ihre Anwendungen. Band 184 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[3] *Fleisher, H.; Maissel, L. I.:* An Introduction to Array Logic. IBM Journal of Research and Development **19** (1975) No. 3, pp. 98–109.
[4] ZKI-Informationen 2/77.
[5] *Franke, G.; Čapenko, V. P.:* Proektirovanie diskretnych upravljajuščich ustrojstv promyšlennogo naznačenija na osnove programmiruemych logičeskich matric (Projektierung diskreter industrieller Steuerungseinrichtungen auf der Grundlage programmierbarer logischer Arrays). Automatika i vyčislitel'naja technika (1981) No. 3, Str. 18–27.
[6] *Kwan, C. L.; Michel, C.; Beux, L.:* Logical systems design using PLA's and Petri-Nets-Programmable hardwired systems. IFIP Conf. Inform. Proc. 1977, pp. 607–611.
[7] *Jones, J. W.:* Array Logic Macros. IBM Journal of Research and Development **19** (1975) No. 3, pp. 120–126.
[8] *Hummitzsch, P.; König, R.:* Corex – eine rationelle Möglichkeit zum Entwurf verbindungsprogrammierter Steuerungen. msr **25** (1982) H. 10, S. 555–559.
[9] *Könitzer, L.:* Anwendung der Zustandsspeicherbaugruppe des Baugruppensystems ursalog 4000. Impuls **21** (1981) H. 4, S. 156–160.

msr 7662

Bei der Anordnung der einzelnen Symbole im Bild wurde weitestgehend der räumlichen Anordnung der betreffenden Elemente am Beschleuniger entsprochen. Aus den Bildern sind die Stellung der Schieber, der Schaltzustand der Pumpen, die Ströme der Getterpumpen und der Status der Vakuumleitungen zu erkennen. Ein Störungsbild erscheint automatisch beim Auftreten von Störungen. Die Störungsmelder werden symbolisch in der Reihenfolge ihrer Meldung auf dem Bildschirm dargestellt. Dadurch wird das Auffinden der Störursache bedeutend vereinfacht. So führt z. B. ein Leck in der Vakuumleitung zuerst zum Ansprechen des nächstliegenden Störungsmelders. Die weiter entfernten signalisieren den Druckanstieg in vom Operator nicht unterscheidbaren Zeitabständen, wenn die zeitliche Reihenfolge nicht auf dem Display zu sehen wäre.

Bild 1 zeigt das Teilsystem „Vakuumanlage des Beschleunigers". Die Leiste auf der linken Bildseite dient der Kennzeichnung (VB ist heller dargestellt) und Auswahl des Bildes. Wenn der Operator das Teilsystem „Vakuumanlage Strahlausführung rechte Seite" zu sehen wünscht, zeigt er mit dem Lichtstift auf die Buchstaben VR in der Leiste, und sofort ist das im Bild 2 gezeigte Teilsystem zu sehen. Die liegenden Rechtecke symbolisieren Vorvakuumpumpen (VP) und Hochvakuumpumpen (HP). Ist eine Pumpe eingeschaltet, wird der erste Buchstabe heller

dargestellt. Die auf der Spitze stehenden Quadrate stellen die Vakuumschieber in ihrem Zustand „geöffnet" oder „geschlossen" dar. An den Hochvakuumpumpen (sofern es sich um Getterpumpen handelt) werden die Getterströme (in mA) angegeben. Eine Vakuumleitung, die nicht durch die ihr zugeordnete Pumpe (oder Pumpen) evakuiert wird, ist gestrichelt dargestellt. Die Buchstaben HA links unten ermöglichen es dem Operator, dem Mikrorechner (MR) das Bestehen einer Havariesituation außerhalb des vom MR erfaßten Systems mitzuteilen. Der MR kann daraufhin bei Anschluß eines Experimentrechners eine entsprechende Meldung an den Experimentator senden.

2. Erforderliche Hardware

Das hier eingesetzte Mikrorechnersystem MPS 4944[1]) (Bild 3, siehe auch [1]) enthält als Prozessor den Schaltkreis Intel 8080. Auf 3 Modulen R 4 zu je 4 Kbyte RAM befinden sich sowohl die erforderlichen Programme als auch die Bildinformationen. Ein Modul, der mit 256 byte PROM bestückt ist, enthält den Anfangslader sowie die Interruptorganisationsroutine. Die Displayeinheit DPE 4054[1]) ist über den Modul „Direkter Speicherkanal Ausgabe" mit dem MR verbunden.
Sie ist in der Lage, alphanumerische Zeichen und Vektoren in acht Richtungen darzustellen. Analoge und digitale Meßwerte werden von Modulen (Analogmultiplexer 5316[1]), ADC 5325[1]), 4 × 24-bit-Eingangsregister [2], 24-bit-LAM-Request-Eingangsregister [3]) erfaßt, die sich in einem CAMAC-Crate befinden.
Die Steuerung im CAMAC-Crate erfolgt durch einen A1-Controller, welcher mit dem MR über eine CAMAC-Anschlußeinheit verbunden ist. Die Informationen für den RAM-Bereich werden von einem Lochbandleser mit SIF-1000-Anschluß eingelesen.
Als Ein- und Ausgabegerät für die Testung und das Programmeinfahren existiert eine selbstgebaute einfache Drehschaltereingabe sowie eine 8-bit-Lumineszenzdiodenausgabe, die über eine SI1.2-Anschlußkarte an den MR gekoppelt ist.

3. Überblick über die Software

Ausgehend von der Aufgabenstellung, die nur eine auf das Bild bezogene Arbeitsweise des Mikrorechners fordert, wurde zu jedem Bild ein als Bildblock bezeichneter Speicherbereich geschaffen, der sämtliche Informationen für die Bilddarstellung (alphanumerische und grafische Informationen) sowie die Informationen für die Unterprogramme, wie Meßwerterfassung, enthält. Mit der Übergabe der Anfangsadresse dieses Bildblockes an das Hauptprogramm und dessen Start erfolgt die Bilddarstellung. An zwei Beispielen soll die Arbeitsweise des Programmes erläutert werden:

— *Analogmeßwerterfassung*

Das Hauptprogramm ermittelt die Anfangsadresse für die Liste zur Analogmeßwerterfassung aus dem Bildblock und teilt diese dem Unterprogramm ANAMWE mit. Danach erfolgt der Sprung in dieses Programm. Die weitere Arbeitsweise entspricht üblichen Meßwerterfassungsprogrammen mit Meßdatenblocktechnik. Der erfaßte, umgerechnete und formatierte Meßwert wird vom Programm ANAMWE zum Schluß in den dargestellten Bildbereich eingetragen.

— *Einsatz des Lichtstiftes*

Während der Aufruf des Analogmeßwerterfassungsprogramms genauso wie das nicht erläuterte Digitalwerterfassungsprogramm zyklisch vom Hauptprogramm erfolgt, geschieht die Aktivierung des Lichtstiftprogramms nur bei Erzeugung eines Lichtstift-

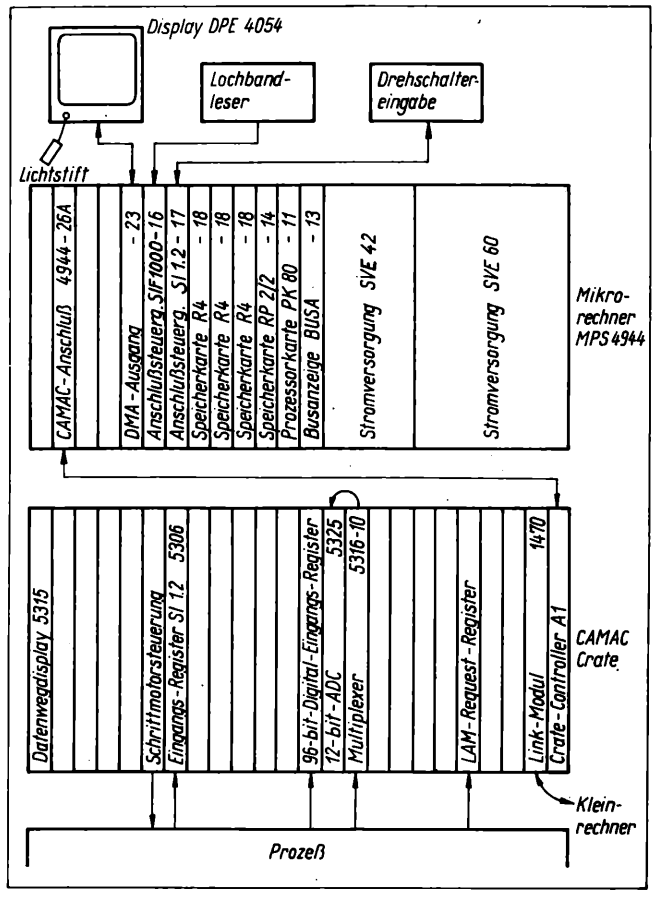


Bild 3. Hardwarekonfiguration

interruptes (z. B. Bildwechselwunsch des Operators). Über die Interruptorganisationsroutine wird das Lichtstiftinterruptprogramm gestartet. Es ermittelt die Ursache des Interruptes und leitet die erforderlichen Aktivitäten ein. Aus einem als Lichtstiftdatenblock bezeichneten Speicherbereich erhält das Programm alle dafür benötigten Informationen (Unterprogrammadressen, Adressen von auszuwechselnden Speicherbereichen usw.). Als Aktivitäten werden z. Z. der Bildwechsel, die Änderung des Status von einigen Vakuumleitungen und die Havariemeldung ausgeführt. Weitere Aktivitäten sind softwaremäßig vorbereitet (z. B. Ein- und Ausschalten von Pumpen, das Öffnen und Schließen von Schiebern sowie das Variieren von motorisch getriebenen Sollwertgebern).

Schlußbemerkungen

Es wurde für die vorhandene Hardware ein Softwaresystem geschaffen, das die Aufgabe der Prozeßzustandsdarstellung löst, das erweiterungsfähig sowie multivalent einsetzbar ist und auch zur Prozeßsteuerung durch den Operator eingesetzt werden könnte (entsprechende Kopplungen vorausgesetzt).
Wie in [1] dargestellt, besteht auch die Möglichkeit, dieses System mit Programmen für andere Aufgaben quasiparallel zu betreiben.

Literatur

[1] *Fülle, R.; Hartmann, B.; Hiekmann, S.; Pietzsch, G.:* Automatische Energievariation am Tandemgenerator EGP 10 auf der Grundlage Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz. msr (in Vorbereitung).
[2] *Borkenhagen, M.:* CAMAC-Modul für die Eingabe von 4 × 24 Bit. Jahresbericht ZfK-443 (1980) S. 170.
[3] *Borkenhagen, M.:* 24-Bit-LAM-Request-Register. Jahresbericht ZfK (in Vorbereitung).

msr 7681 Dipl.-Ing. *G. Pietzsch*, AdW der DDR, Zentralinstitut für Kernforschung (ZfK) Rossendorf, Bereich G

[1]) Im ZfK hergestellt.

Gemeinsames Symposium ITW/IIASA „Flexible Automatisierung — ein Kernprozeß der Revolution der Produktivkräfte in den 80er und 90er Jahren"

Veranstalter des vom 8. bis 11. Juni 1982 an der Akademie der Wissenschaften der DDR durchgeführten internationalen Symposiums waren der Bereich I des Instituts für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft der AdW der DDR (ITW) und das Internationale Institut für Angewandte Systemanalyse, Laxenburg bei Wien (IIASA).

Am Symposium nahmen Wissenschaftler aus der VR Bulgarien, der ČSSR, der DDR, Japan, den Niederlanden, Österreich und Schweden teil, die eng mit dem IIASA-Institut zusammenarbeiten bzw. als Kooperationspartner von AdW-Instituten in Wissenschaftseinrichtungen der Universitäten, Hochschulen, staatlichen Wissenschaftsleitungen oder Forschungseinrichtungen der Partei sowie der Kombinate tätig sind.

Das Seminar stand unter der Leitung von Prof. Dr. *H.-D. Haustein* (IIASA) und Prof. Dr. *H. Maier*, Stellv. Direktor des ITW und Leiter des Bereiches „Analyse und Prognose wissenschaftlich-technischer Neuerungsprozesse". In ihrem Eröffnungsvortrag gingen *H.-D. Haustein* und *H. Maier* auf das mit der flexiblen Automatisierung (FA) verbundene Effizienzpotential, die mit ihr verbundenen wissenschaftlich-technischen und sozial-ökonomischen Herausforderungen und Möglichkeiten ein. Hierbei wurde die Entwicklung der drei Grundbestandteile der FA: NC-Maschinen, Industrieroboter und flexible Fertigungssysteme umfassend ausgearbeitet.

Die auf den Errungenschaften der Mikroelektronik beruhende flexible Automatisierung ermöglicht es gegenüber der Einzweck-Automatisierung, die nach Meinung der Referenten einen Saturationspunkt ansteuert, eine neue Stufe der Automatisierung zu erreichen und ihr bisher unzugängliche Bereiche, so die effektive Produktion hochinnovativer, schnell umschlagender Erzeugnisse zu erschließen. Gleichzeitig ist die flexible Automatisierung durch den mit ihr möglichen Maschine-Maschine-Dialog, die mit ihr verbundenen Anforderungen an Herstellung, Modifizierung und Anwendung der Software sowie die Automatisierung weiter Bereiche der Planungs- und Entwurfs- sowie überhaupt der nichtmateriellen Reproduktionsabschnitte mit einer Veränderung der Stellung der Produzenten im Reproduktionsprozeß verbunden und hat somit gesellschaftliche Wirkungen von großer historischer Tragweite (die Hauptthesen des Referates sind in der Zeitschrift „Wirtschaftswissenschaft" **30** (1982) H. 5, S. 669–687 veröffentlicht).

Ebenso wie dieser Eröffnungsvortrag beinhalteten auch die nachfolgenden Beiträge eine Reihe grundlegender Probleme und Fragestellungen, die weitreichende gesellschaftliche Wirkungen der flexiblen Automatisierung zu erfassen suchten. Ein solches Grundproblem betraf die Bestimmung des Wesens der wissenschaftlich-technischen Revolution (WTR) und die Beziehungen zwischen flexibler Automatisierung und wissenschaftlich-technischer Revolution, auf die insbesondere *H. Nick* (DDR) in seinem Beitrag hinwies. Die WTR, die nach seiner Ansicht alle Elemente des Arbeitsprozesses verändert, bringt zugleich auch neue Erscheinungsformen und Bedingungen hervor, z. B. die FA und verbunden damit neue Arbeitsmittel (Software), die Übertragung geistiger Arbeitsfunktionen an technische Systeme, die Verkürzung der ökonomischen Nutzdauer u. a. m. Letzterer muß vor allem über technische Neuerungen zum Bestehenden entgegengewirkt werden.

Im Verlaufe der Diskussion gab es zum Wesen der WTR verschiedene ergänzende Bemerkungen, so beispielsweise durch *A. Schüler* (DDR) zu einigen qualitativ neuen Aspekten der Automatisierung, so auch der Hinweis von *H. Seickert* (DDR), daß mit der Wissenschaft und dem Faktor „Information" eine qualitative Erweiterung des Funktionsbereiches des Menschen (bzw. der Gesellschaft) im Verhältnis zur Natur eingetreten ist, wodurch in Verbindung mit der Technik viele natürliche und gesellschaftliche Prozesse für den Menschen überhaupt erst beherrschbar wurden.

Obwohl sich die Teilnehmer des Symposiums darin einig waren, daß die flexible Automatisierung als eine qualitativ neue Stufe der Automation angesehen werden kann, gab es auch Einschränkungen dahingehend, diese neue Stufe umfassender zu sehen, sie nicht nur auf die FA zu beschränken (*K. Steinitz*, DDR), weil sie nicht alle qualitativ neuen Aspekte (technologischer Art als auch hinsichtlich der Wirkungsrichtungen, z. B. in nichtproduktiven Bereichen) zum Ausdruck bringen würde. Einig war man sich jedoch letztlich auch darin, die FA nicht nur auf die materielle Produktion zu beziehen. Zudem zeigten vor allem die Beiträge vom Standpunkt der Information bzw. Informationstechnologie (*K. Fuchs-Kittowski*, DDR), daß sachlich-inhaltlich in vielen Fragen Übereinstimmung besteht, z. B. im Verhältnis von FA und adaptiver Automation, der Verbindung von FA und Zielbestimmungsprozeß sowie adaptiver Zielanpassung.

Aus der Sicht verschiedener Wissenschaftsdisziplinen sowie Anwendungsbereiche und gestützt auf konkrete Untersuchungen nahmen auf dem Symposium die Probleme und Fragestellungen zur gesellschaftlichen Wirksamkeit sowie zum Effizienzpotential der FA bzw. der Automation einen breiten Raum ein. *H. Maier* hatte zu diesem Problemkreis noch einmal seine Auffassungen zum Effizienzpotential, zum Verhältnis von dynamischer Effizienz und Durchschnittseffizienz in bezug auf die verschiedenen Innovationstypen sowie auf die unterschiedlichen Innovationsstrategien erläutert. Am Beispiel von Schweißautomaten und ihrer Entwicklung wurde von *G. Hesse* (DDR) konkret aufgezeigt, in welchen Richtungen dieses Effizienzpotential wirksam gemacht werden konnte (bei Zeiteinsparungen, über das technische Niveau der Erzeugnisse, ihre Gebrauchseigenschaften und ihre Leistungen). In der Produktionspraxis gewonnene Erkenntnisse zur Automatisierung lagen auch dem Beitrag von *V. Kvapil* (ČSSR) zugrunde, in dem am Beispiel Maschinenbau vor allem auf jene Bedingungen eingegangen wurde, die für das Auffinden des rationellsten Einsatzes der Automation von Bedeutung sind.

Welche Effektivität durch Automatisierung nichtproduktiver Bereiche schon möglich geworden ist, wurde in anschaulicher Weise durch den Vortrag von *W. Goldberg* (Schweden) am Beispiel automatisierter Prozesse des Bank-, Geld- und Verrechnungsverkehrs sowie von Informationsprozessen demonstriert. Dabei erfordert die Komplexität der Automatisierung und Optimierung von Leitungs- und Planungsprozessen auf Betriebs- und Kombinatsebene die Durchführung von Systemanalysen und die Modellierung dieser Prozesse als Große Systeme; mit den hierzu einsetzbaren Methoden und Verfahren befaßte sich der Beitrag von *H.-G. Lauenroth* (DDR). Auf Anwendungsrichtungen in nichtproduktiven Bereichen und das noch zu erschließende Effizienzpotential war auch der Beitrag von *H.-J. Krüger* (DDR) orientiert.

Mit dem Beitrag von *F. Prakke* (Niederlande) wurden den Teilnehmern Ergebnisse einer interessanten Studie vorgestellt, in der die Produktivitätsentwicklung zwischen 1953 und 1973 der USA, Großbritanniens und Japans in bezug auf etwa 500 Innovationen dieser Länder (differenziert nach drei Kategorien) untersucht worden war. Ein weiterer Aspekt seines Vortrages betraf Ursachen, Bedingungen und Faktoren des Ein-

satzes von NC- und CNC-Maschinen in kleineren Betrieben der Niederlande.
Welche gesellschaftlichen Auswirkungen der FA in kapitalistischen Ländern immer stärker in den Mittelpunkt wissenschaftlicher Untersuchungen rücken, zeigte insbesondere der Beitrag von *P. Fleissner* (Österreich), der sich mit einigen gesellschaftlichen Veränderungen und Auswirkungen durch die Mikroelektronik befaßte. Unter Berücksichtigung solcher Variablen, wie Produktionswachstum, Produktivitätswachstum, Reallohnentwicklung, Import, Export, Beschäftigte u. a. m. müssen in diesen Ländern vor allem die Auswirkungen in bezug auf Arbeitslosigkeit aufgezeigt und beachtet werden, die auch zu einer steigenden Technologiefeindlichkeit geführt hat. Fast alle Beiträge zeigten, daß die FA im Interesse der Nutzung ihres Effizienzpotentials eine umfassendere Effektivitätssicht erfordert, die von den sozialökonomischen Zielstellungen nicht abstrahiert werden kann. Die FA muß — wie bereits an den komplexen Zielstellungen im Eröffnungsvortrag gesagt wurde — nicht nur vielfältigen Effektivitätserfordernissen gerecht werden, sondern sie muß auch als Reaktion auf die innovative Dynamik der WTR verstanden werden, durch die mit jeder ihrer Errungenschaft qualitativ neue Maßstäbe (bei Bedürfnissen, Erzeugnisqualitäten, Kosten, Preisen u. a. m.) und daraus resultierende flexible Anforderungen gesetzt werden, denen adäquat eine entsprechende materiell-technische Produktionsbasis mit einer hohen Reaktionsfähigkeit entsprechen muß. Dadurch kann — wie *H.-D. Haustein* bemerkte — der Widerspruch zwischen Erzeugnisfortschritt und Prozeßfortschritt überwunden werden.

Auf einer Reihe sozialer Auswirkungen und strategischer Konsequenzen, die sich aus der Entwicklung der Informationstechnologien und der Stellung des Menschen in komplizierten technischen Prozessen ergeben, machte der Beitrag von *K. Fuchs-Kittowski* (DDR) aufmerksam.

Weitere inhaltliche Schwerpunkte der Vorträge betrafen Probleme der Effektivitätsanalyse der FA, die Software-Problematik (*K. Sugyiama*, Japan) sowie wissenschaftsstrategische Probleme (*H. Maier / H.-D. Haustein / K. Fuchs-Kittowski*, DDR, und *C. Christov*, (VR Bulgarien)).

Es ist beabsichtigt, die Materialien des Symposiums in Englisch (durch das IIASA-Institut) und Deutsch (durch das ITW) zu publizieren. Für die Fortführung der Forschungsarbeiten zur FA dürfte es sicher viele Anregungen vermitteln.

msr 7709 *H. Seickert; H.-J. Krüger*

9. IMEKO-Weltkongreß „Technologische und methodische Fortschritte in der Meßtechnik"

Vom 24. bis 28. Mai 1982 fand in Berlin (West) der 9. Weltkongreß der Internationalen Meßtechnischen Konföderation (IMEKO) statt.
Er bildete mit über 600 Teilnehmern aus 32 Ländern ein wissenschaftliches Forum, das mit über 200 Vorträgen in 29 Sektionen, mit knapp 30 Postersitzungen, mit 10 Rundtischdiskussionen sowie einer Buch- und einer Meßgeräteausstellung den aktuellen Stand der Meßtechnik fixierte, viele neue Anregungen gab und langfristig tragfähige Entwicklungsrichtungen aufzeigte.
Abgerundet wurde das Programm durch technische Exkursionen in Industriebetriebe, Hochschulinstitute und Forschungseinrichtungen in Berlin (West).
Bemerkenswerteste Ergebnisse des Kongresses sind die beeindruckende Leistungsbreite bei der engen Verknüpfung zwischen Meß-, Regelungs- und Rechentechnik, die erfolgreiche Überwindung des „Softwareschocks" und die breite Einbeziehung der Rechner in Meßprozesse und Meßgeräte für Selbstprüfung, Selbstkalibrierung, automatische Korrektur, Bedienerführung und Automatisierung. Die Leistungsparameter der Geräte sind gestiegen, die Kosten gefallen, die Abmessungen und die Masse haben abgenommen, die Transportierbarkeit nahm zu.
Die auf dem 8. IMEKO-Kongreß in Moskau 1979 vorausgesagte breite Anwendung der Mikroprozessortechnik in der Meßtechnik ist international eingetreten. Der prognostizierte bedeutende Zuwachs der Leistungsfähigkeit der Meßtechnik in Forschung, Entwicklung und Produktion ist realisiert worden. Die Wachstumsraten sind weiter im Ansteigen begriffen.
Weder die Automatisierung der Meßtechnik selbst noch die Automatisierung der Produktion mit Hilfe einer leistungsgesteigerten und teilweise „intelligenten" Meßtechnik sind ohne Probleme.

1. Sensortechnik als Nadelöhr

Inhaltlicher Schwerpunkt des 9. Weltkongresses der IMEKO war die **Sensortechnik**. Ihr waren 10 Vortragssektionen, mehrere Rundtischdiskussionen, die Ausstellung und viele Gespräche direkt gewidmet. Aber auch in den Sektionen zur Prüftechnik und Qualitätssicherung, Technischen Diagnostik, zur Signalverarbeitung und nicht zuletzt zur Kalibrierung und gesetzlichen Metrologie waren Probleme der Sensortechnik von ausschlaggebender Bedeutung.
Die Mikroelektronik-Kompatibilität von Sensoren hat mehrere Seiten mit häufig kontroversem Charakter. Miteinander in Einklang zu bringen sind dabei

- Herstellungskosten
- Herstellungstechnologien
- Gerätetechnik
- Programmtechnik
- Funktionsprinzipien
- Systemkonzepte
- Schnittstellen
- Zuverlässigkeiten
- Betriebsinteressen.

Entsprechend vielgestaltig sind die Standpunkte zur Sensortechnik. Die Unsicherheit über Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen der Sensoren ist unverändert groß.

2. Entwicklungsschwerpunkte der Meßtechnik

Aus den **Übersichtsvorträgen** lassen sich folgende Schwerpunkte der weiteren Entwicklung der Meßtechnik ableiten:

- Intelligente **Sensoren** (smart sensors) sind durch softwaregestützte robuste Sensoren (soft sensors) zu ergänzen. Soft sensors sind dadurch gekennzeichnet, daß aus zahlreichen gleichartigen und evtl. verschiedenartigen Sensoren auf einem Chip oder in einem Gehäuse durch statistische Mittelwertbildung und andere rechnerische Verfahren über integrierte Rechner die metrologische Leistungsfähigkeit der Sensoren gesteigert wird (*W. G. Wolber*, USA).

- Die **Lichtleitertechnik** gewinnt an Bedeutung und ist wissenschaftlich und technisch zu verfolgen.
  Bei der Anwendung von Fasersensoren für meßtechnische Zwecke ist eine sanfte Ernüchterung eingetreten. Die bedeutenden Vorteile der digitalen optischen Signalverarbeitung lassen sich nicht unmittelbar vom Sensor her nutzen, da die meisten Fasersensoren analog arbeiten. Trotz ermutigender Anwendungen verschiedener Meßprinzipe im Labormaßstab steht die breite industrielle Anwendung noch aus und ist offenbar kurzfristig auch nicht zu erwarten (*N. Geckeler*, BRD).

- Die **technische Diagnostik** gewinnt stark an Bedeutung, um Prüfkosten und Prüfzeiten besonders an komplizierten Objekten erheblich zu reduzieren. Hierbei spielt der Einsatz kleiner leistungsfähiger Rechner eine entscheidende Rolle (*L. F. Pau*, Frankreich).

— **Automatisierte visuelle Systeme** dienen zunehmend der Messung und Prüfung für die Qualitätssicherung. Der apparative Aufwand ist für komplizierte Sehaufgaben ganz erheblich. Für die Echtzeitqualitätsanalyse von glühenden Stahlplatten wurden beispielsweise 3000 integrierte Schaltkreise nur für die Signalvorverarbeitung benötigt. Bei einfacheren Aufgaben ist speziell für die berührungslose Längenmessung mit optoelektronischen Systemen ein bedeutender Rationalisierungseffekt zu erzielen. Die vorgestellten Problemlösungen sind verallgemeinerungsfähig und beziehen sich auf die Qualitätsprüfung von Tabletten, Leiterkarten, Wafern, Stahlplatten usw.
Es fehlen bisher logische Strukturen, Algorithmen und gerätetechnische Lösungen zur effektiven parallelen Verarbeitung mehrdimensionaler Ortsfunktionen anstelle der bisher üblichen sequentiellen Verarbeitung eindimensionaler Zeitfunktionen. Die Verfasser vertraten die Ansicht, daß in den nächsten fünf bis zehn Jahren ein Durchbruch bei der automatischen Sichtkontrolle erzielt wird (*I. Morishita/M. Okumara*, Japan).

— Die verstärkte Integration höherer mathematischer Funktionen in die Sensortechnik regt dazu an, bekannte und bewährte Theorien und **Algorithmen** auf ihre Leistungsfähigkeit in der Meßtechnik stets von neuem zu überprüfen. Konsequenzen zielen in Richtung einer Systemtheorie für nichtlineare und unscharfe Systeme sowie deren gerätetechnische Realisierung für eine adaptive Meßtechnik. Es erscheint angezeigt, bei systemtheoretischen Untersuchungen auch Explosions- und Extinktionsvariable zuzulassen. Diese neuen Überlegungen wurden sehr interessiert aufgenommen und anhaltend diskutiert (*M. Peschel*, DDR).

— Die breite Einführung der Rechentechnik in die Meßtechnik bringt neue **metrologische Probleme** mit sich. Schwerpunkt ist dabei die Sicherstellung der Einheitlichkeit und Richtigkeit von Messungen unter Einbeziehung ständig wachsender Anteile der Programmtechnik (Software). Es fehlt bisher die metrologische Bestätigung von Rechenprogrammen (*V. N. Ivanov / G. I. Kavalerov / E. I. Tsvetkov*, UdSSR).

3. Neue Erkenntnisse zu Teilgebieten der Meßtechnik

In den über 200 **Sektionsvorträgen und Posterveranstaltungen** wurden neue Erkenntnisse und umfangreiche Applikationserfahrungen mitgeteilt, die auszugsweise folgende Gebiete betreffen

— **Längen- und Winkelmessung** mit

- Mehrkoordinatenmeßgeräten (*H. Tikka*, Schweden; *J. Farkas*, Ungarische VR; *W. Lotze*, DDR; *A. Weckenmann, R. Seitz* u. a., BRD; *Y. Yokoyama* u. a., Japan)
- Lasermeßgeräten (*E. Trapet, M. Schaller, H.-H. Schuessler* u. a., BRD; *P. Bölöni*, Ungarische VR; *Yu. G. Zakharenko, P. S. Krylov* u. a., UdSSR)
- optoelektronischen und akustischen Sensoren (*T. Idogava* u. a., Japan; *H. Sohlström* u. a., Schweden; *V. Snitko, N. P. Udalov, V. D. Zotov* u. a., UdSSR)
- automatisierten Prüfständen (*G. Spur* u. a. Berlin (West); *E. Bott* u. a., BRD)

— **Masse-, Kraft- und Druckmessung** mit

- Dünnfilm-Dehnmeßstreifen (DMS) (*K. Bethe*, BRD; *J. Dorsey*, USA)
- Silizium- auf -Saphir-DMS (*G. G. Iordan* u. a., UdSSR)
- Metalldünnschicht-DMS (*G. Werner* u. a., BRD)

— **Geschwindigkeits-, Volumenstrom- und Massestrommessung** mit

- magnetischen Sensoren (*K. W. Bonfig*, BRD; *I. D. Velt* u. a., UdSSR; *D. D. Jones*, GB)
- thermischen Sensoren (*U. Wittkowski*, BRD; *M. Takamoto* u. a., Japan)
- Ultraschall-Sensoren (*A. Lauber*, Schweden; *H. Lechner*, Schweiz; *R. Rell*, GB)
- Infrarot-Sensoren (*G. Spies* u. a., BRD)
- optoelektronischen Sensoren (*C. Koppermann*, BRD)
- Korrelationsverfahren (*M. Nagai*, Japan; *R. Massen* u. a.; *H. P. Greiner, W. Witte* u. a.; *G. Schneider* u. a.; *T. Weber*, BRD)
- Doppler-Verfahren (*N. Feistauer* u. a., DDR; *H. Braun, D. Dopheide* u. a., BRD; *M. Uchiyama* u. a., Japan)

— **Temperatur -und Strahlungsmessung** mit

- Platin-Widerstandsthermometern (*C. Meisser*, Schweiz; *Li Xumo* u. a., VR China)
- mikrorechnergestützten Pyrometern (*Y. Mashino* u. a., *Japan*; *I. Weber*, Berlin (West); *K. Mine* u. a., Japan)
- Ionenthermometer (*M. Strnad* u. a., ČSSR)

— **Messung elektrischer Größen** mit

- rechnergesteuerten Meßbrücken (*W. Helbach* u. a., Berlin (West); *E. D. Koltik* u. a., UdSSR; *J. Bohacek* u. a., ČSSR; *G. Iuculano* u. a., Italien)
- rechnergestützten Signalanalysatoren (*J. Weiler*, Schweiz)
- digitalisierten Leistungsmessern (*W. Roth, M. Krumm*, Berlin (West))
- rechnergestützten Kardiografen (*J. K. Choudhury* u. a., Indien)
- Rheo-Encephalografen (*C. de Rooij* u. a., Niederlande)

Die **Analysenmeßtechnik** war auf dem 9. IMEKO-Weltkongreß nicht entsprechend ihrer Bedeutung für Industrie und Forschung und den beachtenswerten Fortschritten bei der rechnergestützten Steuerung und Signalverarbeitung in automatischen Analysatoren vertreten.
Auf dem Gebiet der **Meßsignalverarbeitung und Modellierung** wurden neue Überlegungen und Erfahrungen mitgeteilt zur

— Optimierung konstruktiver Parameter von Sensoren (*F. Abdullah* u. a., GB; *H.-W. Dorschner*, BRD)
— Unterdrückung von Störsignalen (*P. Stein*, USA; *G. Jost*, BRD; *G. Blasquez* u. a., Frankreich)
— Erhöhung des Auflösungsvermögens (*E.-G. Woschni*, DDR; *F. Schubert* u. a., BRD; *H. Yamada* u. a., Japan; *A. Krolikowski*, VR Polen; *G. Blaho* u. a., Ungarische VR; *K. Kariya* u. a., Japan; *B. Stojanovic* u. a., Jugoslawien)
— Anwendung von Cepstrumanalyse (*M. Peschel* u. a., DDR), komplexen Walsh-Funktionen (*L. Blaesser*, BRD), Campbell-Methode (*M. Kreiner* u. a., Österreich), struktureller Rekonfiguration (*D. Balzer* u. a., DDR; *V. S. Tichonov* u. a., UdSSR).

Die digitale Signalverarbeitung mit hoher Geschwindigkeit benötigt zunehmend den Einsatz von Multiprozessorsystemen mit paralleler Signalverarbeitung (*K. Deguchi* u. a., Japan). Intelligente Meßsysteme verlangen neue Überlegungen zum Entwurf der Software (*J. Sztipanovits* u. a., Ungarische VR) und zu deren metrologischer Prüfung und Bestätigung (*D. Hofmann*, DDR). Rechner können für Meßaufgaben eichfähig, prüffähig oder unbrauchbar sein (*J. Glimm*, BRD).
Als bemerkenswerte pragmatische Lösung zur Vereinheitlichung der Prüfapparaturen und Rechenprogramme für komplizierte Anlagen wurde ein mobiler Prüf-Container vorgestellt (*K. Natusch*, BRD).
Bei der **Mensch-Maschine-Kommunikation** ist es notwendig, die Anwenderstrategie mit der angebotenen redundanten kodierten Information auf dem Bildschirm in Einklang zu bringen.
Mehr Symbole und mehr Farben (*R. Haller* u. a., BRD) sowie mehr rot, blau und gelb anstelle von grün (*J. Schanda*, Ungarische VR) werden als zweckmäßig erachtet.
Zur Entlastung des Menschen werden selbstabgleichende (*S. G. Taranov* u. a., UdSSR) und selbstkalibrierende Geräte (*F. E. Wagner*, Berlin (West); *O. Krull* u. a., BRD; *E. Layer*, VR Polen) sowie rechnergestützte Inspektionssysteme (*W. Rühle*, BRD) empfohlen. Fortschritte auf dem Gebiet der **Technischen Diagnostik** betrafen

— Multimikroprozessorsysteme zur Überwachung von Kernreaktoren (*S.*

Seidler u. a., DDR; *E. Saedtler*, BRD; *J. Valko* u. a., Ungarische VR)
- Maschinendiagnosesysteme für rotierende Geräte und Maschinen (*K. Tatebayashi* u. a.; *T. Fukuda* u. a., Japan; *B. Wislicki* u. a., VR Polen *H. K. Tönshoff* u. a., BRD; *K. Metzger* u. a., Berlin (West); *Y. Sakamoto* u. a., Japan).
- Prüfsysteme für elektrische Parameter von Baugruppen und Anlagen (*V. Benes*, *J. Hlavička*, ČSSR; *F. Castanie* u. a., Frankreich; *J. Schoukens* u. a., Belgien; *A. Longo* u. a., Italien)
- Materialprüfsysteme (*R. Christmann* u. a., Berlin (West); *P. Citti* u. a., Italien)

International wurden weitere Fortschritte bei der **automatischen Bildverarbeitung** erzielt. Sie betreffen Tester zur Beurteilung von

- Lackierungen auf Kfz (*M. Matsuta* u. a., Japan; *R. R. Pryor*, Canada)
- Rissen in Werkstücken (*B. Fischer* u. a., BRD)
- Verwerfungen und Rissen an Walzstahlblechen (*T. J. Ellis* u. a., GB; *T. Akuta* u. a., Japan)
- Graphiteinlagerungen in Schliffbildern (*M. Hajnal*, Ungarische VR)
- Verschmutzungserscheinungen an Pflanzen (*Y. Hashimoto* u. a., Japan)
- Echtzeitprofilmessungen an großen Objekten (*Th. Kreis* u. a.; *H. Geißelmann* u. a., BRD; *T. Mikuriya* u. a., Japan)

Die ausgedruckten Volltexte der Beiträge umfassen 5 Bände mit insgesamt 2000 Seiten. Sie sind in Englisch abgefaßt und enthalten zahlreiche Bilder und Tafeln. Sie können eingesehen werden in **Berlin** bei Prof. *Peschel*, AdW-Fb M/K, und Dr. *Fuchs*, KEAW-IfR; **Dresden** bei Prof. *Lotze*, TU-FMT, und Dr. *Seidler*, AdW-ZfK; **Karl-Marx-Stadt** bei Prof. *Woschni*, TH-IT; **Leipzig** bei Prof. *Richter*, TH-AA, und **Jena** bei Prof. *Hofmann*, FSU-T. Die überarbeiteten Volltexte erscheinen Ende 1982 als ACTA IMEKO 1982 unter dem Titel „Technological and Methodical Advances in Measurment" im Verlag Akadémiai Kiadó, Budapest. Sie sind über den Buchexport, 7010 Leipzig, Leninstr. 15, zu bestellen.
Während des 9. IMEKO-Weltkongresses veranstalteten einzelne Technische Komitees auch gut besuchte **Rundtischdiskussionen**. Es wurden Trends und Entwicklungstendenzen abgeschätzt und diskutiert. Eine ausführliche Berichterstattung über die international diskutierten Probleme erfolgt in der Zeitschrift Feingerätetechnik **31** (1982) H. 12.

4. Einfluß der Meßtechnik auf die Qualitätssicherung

Auf dem 9. IMEKO-Weltkongreß wurde erneut deutlich, daß die Meßtechnik weite Bereiche des gesellschaftlichen Lebens durchdringt, immer stärker zur Gewinnung neuer Erkenntnisse, zur Qualitätssicherung in der Produktion und Konsumtion sowie zum Schutz der Umwelt und zur Diagnose und Therapie in der Medizin herangezogen wird.
Hochleistungsfähige Maschinen und Aggregate einschließlich Industrieroboter funktionieren nicht ohne eine leistungsfähige Meßtechnik. Deshalb reicht die Bedeutung der Meßtechnik auch weit über ihr unmittelbares Produktionsvolumen in der Volkswirtschaft hinaus. Vernachlässigungen in der Meßtechnik wegen ihres Anteils von weniger als 1% des gesellschaftlichen Gesamtprodukts führen zu Folgekosten, die weit darüber liegen. Diese Abhängigkeit wird zunehmend bewußt.
Soweit Theorie, Praxis und Intuition reichen, werden Meßtechnik, Regelungstechnik und Rechentechnik qualitativ erweitert, quantitativ verbessert und gemeinsam eingesetzt.
In Vorbereitung des 10. IMEKO-Weltkongresses, der vom 22. bis 26. April 1985 in Prag stattfindet, werden sich die internationalen Anstrengungen zur Weiterentwicklung der Meßtechnik auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

Sensortechnik

- Erweiterung des Spektrums der Si-Sensoren
- Erweiterung des Spektrums der Faser-Sensoren
- Durchbruch bei billigen Kfz-Sensoren
- Weiterentwicklung der intelligenten Sensoren
- Technologische Verbesserungen der klassischen Sensoren
- Durchbruch bei optoelektronischen Sensoren für berührungslose Meß- und Prüfaufgaben

Gerätetechnik

- Bedeutender Ausbau mikrorechnergestützter Meßgeräte mit Selbstprüfung, Selbstkalibrierung, hohem Bedienkomfort und leichter Transportierbarkeit
- Bedeutende Erweiterung der
  - Korrelationsmeßtechnik
  - Ultraschallmeßtechnik
  - Analysenmeßtechnik
  - Technischen Diagnostik
  - Automatischen Bildauswertung
  - Produktionsmeßtechnik

Programmtechnik

- Darlegung der Software
- Schaffung von strukturierter Software
- Metrologische Prüfung von Software
- Anwendung standardisierter Software durch Angebot als hardwareimplementierte Firmware

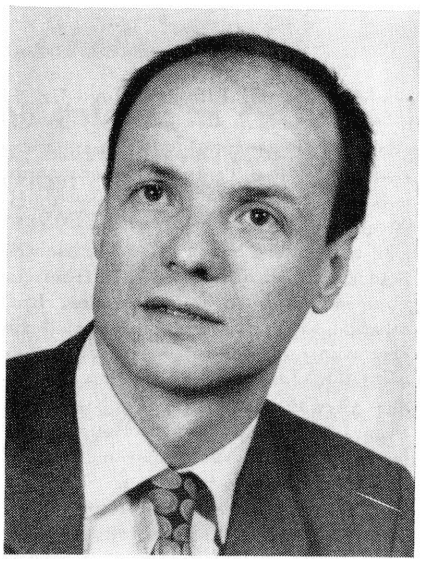
Nicht zu erwarten sind

- vereinheitlichte Interfaces
- einheitliche Programmiersprachen
- einheitliche Bussysteme
- einheitliche Rechner.

Als sicher kann gelten, daß die **Kosten** der Meßtechnik als Gerätekosten, Programmierkosten, Wartungskosten und Bedienkosten sowie die **Fehlerfolgekosten** als Wirkung durchgeführter oder unterlassener Messungen immer stärker ins Bewußtsein vordringen und so die ökonomischen Aspekte der Meßtechnik auf dem 10. IMEKO-Weltkongreß 1985 in Prag eine noch größere Rolle spielen werden als bisher.
Durch sehr breite Einbeziehung der mikroelektronischen Rechentechnik in die Meßtechnik auf der Basis von Einchiprechnern, durch die ideenreiche Anwendung mathematischer und heuristischer Algorithmen und durch die massenhafte Sammlung von praktischen Erfahrungen im Umgang mit rechnergestützter Meßtechnik ist ein **qualitativer** Sprung bei der meßtechnischen Informationsgewinnung und dadurch auch bei der technologischen Beherrschung von Forschungs- und Produktionsprozessen zu erwarten.
Im Gefolge nehmen Qualitätsangebote und Qualitätsforderungen auf dem internationalen Markt gesetzmäßig weiter zu.
Die Produktivität der Arbeit steigt an und wächst dabei schneller als die Produktion. Die meßtechnische Beherrschung technischer Prozesse wird zu einem Schlüsselargument bei der Sicherung von Exportchancen. Meßtechnische Urkunden von Staatsinstituten, Kalibrierdiensten und leistungsfähigen anerkannten Institutionen der Hochschulen und Industrie haben wachsende handelspolitische Bedeutung. Teure Systemlösungen und billige (low-cost) Insellösungen werden international gleichrangig bearbeitet und angeboten. Große Fortschritte sind im Angebot an sogenannten kleinen Lösungen zu erwarten.
Dabei werden bevorzugt klassische Meßgeräte durch Einbau von Einchiprechnern „intelligent" und kompatibel gemacht.
Gegenwärtig sammeln die fortgeschrittenen Industrieländer in großer Breite Erfahrungen im Umgang mit intelligenten Meßgeräten. Mitte der 80er Jahre ist auf der Basis dieser Erfahrungen ein einschneidender Wandel in der Instrumentierungstechnik zu erwarten. Neue Meßstrategien auf der Basis solider Prozeßkenntnisse gewinnen an Bedeutung. Die zukünftigen Erfahrungen basieren auf **heute** eingesetzten Mikrorechnern. Unqualifizierte und unterlassene Messungen wirken multiplikativ qualitätsmindernd.
Durchgreifende Verbesserungen des Verhältnisses von Aufwand zu Nutzen, wesentliche Einsparungen an Rohmaterial und Energie, Erhöhung der Qualität und Zuverlässigkeit der Erzeugnisse und nicht zuletzt ihre Konkurrenzfähigkeit und Devisenrentabilität auf dem Weltmarkt werden immer stärker auf einer prozeßnahen Meß- und Prüftechnik abgestützt.

msr 7715 Prof. Dr.-Ing. habil. *D. Hofmann*, Mitglied des Generalrates der IMEKO und Leiter der DDR-Delegation zum 9. Weltkongreß

Interview mit dem IMEKO-Präsidenten Prof. Dr.-Ing. T. Pfeifer



Im Rahmen des 9. IMEKO-Weltkongresses vom 24. bis 28. Mai 1982 in Berlin (West) gewährte Herr Prof. Dr.-Ing. Tilo Pfeifer für die msr ein Interview. Herr Prof. Pfeifer war in den letzten drei Jahren, zwischen dem 8. und 9. Weltkongreß, Präsident der IMEKO (International Measurement Confederation) und gleichzeitig Präsident der VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Regeltechnik der BRD.

msr: Herr Professor, sind Sie der Meinung, daß derartige Kongresse generell eine sinnvolle Form des Informationsaustausches sind? Ist nicht der Tagungsteilnehmer durch das breite Vortragsangebot und die Informationsdichte der Vorträge aufgrund der letztlich doch knapp bemessenen Redezeit der Vortragenden häufig überfordert?

Prof. *Pfeifer*: Der 9. Weltkongreß der IMEKO zeichnete sich genau wie ähnlich angelegte Veranstaltungen durch zwei generelle Möglichkeiten des Wissenstransfers aus. Das sind zum einen die Vorträge, andererseits bietet sich die Chance des direkten Gesprächs, sei es in der Vortragsdiskussion, im Pausendialog oder durch das Angebot der Rundtischgespräche zu inhaltlichen Schwerpunkten. Gerade die Möglichkeit der sofortigen Klärung offener Fragen, die gemeinsame Abwägung des Für und Wider durch Experten und die Anbahnung nützlicher wissenschaftlicher und persönlicher Kontakte machen Veranstaltungen dieser Art so wertvoll.

msr: Können Sie heute, am letzten Kongreßtag, schon eine kurze Einschätzung geben? Welche Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Meßtechnik zeichnen sich ab?

Prof. *Pfeifer*: Nun, obwohl ich aufgrund diverser offizieller Verpflichtungen im Kongreßzeitraum nur an einem begrenzten Ausschnitt der Vorträge und Veranstaltungen teilnehmen konnte, habe ich doch insbesondere aus den Plenarvorträgen einige wichtige Anregungen erhalten. In den letzten Jahren hat die Meßtechnik entscheidende Impulse erhalten. Zur Verdeutlichung dieser Aussage mögen nur einige wichtige Stichworte genannt werden. Der Einzug der Optoelektronik in die Meßsysteme hat eine stürmische Entwicklung genommen. Der Einfluß opto-elektronischer Sensoren in Verbindung mit Opto-Kopplern, Glasfasertechnik und Mikrorechnern ist beispielsweise bei der automatischen Sichtprüfung und Bilderkennung bzw. -verarbeitung ebenso zu spüren wie bei der Datenübertragung mit Lichtleitern, was besonders für den kommerziellen Sektor Post-Rundfunk-Fernsehen von großem Interesse ist. Ein weiterer Schwerpunkt sind die Sensoren oder Meßwertaufnehmer, die unter den Bedingungen der integrierten Schaltungstechnik eine neue Qualität erlangt haben. Die Kombination von Aufnehmer und speziellem Mikrorechner, möglichst gar auf einem Chip, kann den Sensor mit „Intelligenz" ausstatten, wodurch eine Fehlerkompensation hinsichtlich Nichtlinearitäten, Temperaturempfindlichkeiten u. ä. ermöglicht wird, der Aufnehmer automatisch kalibriert werden kann oder zufällige Fehler durch statistische Messungen reduziert werden können. Außerdem ist die parallele Erfassung vieler Meßgrößen realisierbar. Nicht zuletzt möchte ich auch in diesem Zusammenhang auf den deutlichen Trend vom abgegrenzten Einzelproblem hin zum Meßsystem verweisen. Unter Meßsystem ist hierbei die Funktionszusammenfassung von Meßgrößenaufnahme und -wandlung, Meßsignalübertragung, Meßwertverarbeitung und -verdichtung, Meßwertausgabe, Eigenüberwachung und -abgleich zu verstehen. Die Meßtechnik, vor allem auch im Hinblick auf ihren Einsatz in automatisierungstechnischen Anlagen zur Erfassung und Verarbeitung von Prozeßgrößen, zur Prozeßregelung und -überwachung, ist also viel komplexer geworden.

msr: Welche methodischen Fortschritte sind in der Meßtechnik erkennbar?

Prof. *Pfeifer*: Ohne hier schon ein endgültiges Resümee ziehen zu wollen, scheinen mir die deutlichsten Fortschritte in theoretisch-methodischer Hinsicht auf den Gebieten der Aufbereitung der Korrelations- und Fourieranalysetechniken, der Analysenmeßtechnik, der Diagnose bzw. Überwachung von Prozessen, Systemen und Signalen und der Selbstkalibrierung von Meßsystemen vollzogen worden zu sein.

msr: Sie erwähnten bereits die enorme Bedeutung der Meßtechnik als notwendige Voraussetzung für sinnvoll funktionierende automatisierungstechnische Anlagen. Wie schätzen Sie gerade unter diesem Blickwinkel die Zusammenarbeit mit der regelungstechnischen Weltorganisation, der IFAC, ein?

Prof. *Pfeifer*: Die Zusammenarbeit zwischen IMEKO und IFAC, das kann man mit einiger Genugtuung sagen, besteht nicht nur auf dem Papier. Das beste Beispiel dafür ist die gegenseitige Mitarbeit in den jeweiligen Technischen Komitees, die für beidseitige Informiertheit und Abstimmung unabdingbar ist. So war u. a. Prof. *Thoma* als IFAC-Vizepräsident hier auf unserem Kongreß, ich selbst bin Mitglied zweier Technischer Komitees der IFAC. Eine organisatorische Koordination wird durch unseren gemeinsamen Dachverband, die FIACC (Five International Associations Coordinating Commitee), vorgenommen, der überdies noch die IFIP (International Federation for Information Processing), die IFORS (International Federation of Operational Research Societies) und die IMACS (International Association for Mathematics and Computers in Simulation) angehören. IFAC, IFIP und IMEKO arbeiten besonders eng zusammen. Die FIACC richtet gemeinsame Schwerpunktveranstaltungen aus.

msr: Vom letzten IFAC-Weltkongreß im August 1981 in Kyoto/Japan ist bekannt, daß es dort ein nahezu paritätisches Verhältnis zwischen Vorträgen aus dem Bereich rein wissenschaftlicher Institutionen und aus Industrieforschungseinrichtungen gab. Läßt sich diese Aussage für den IMEKO-Weltkongreß ebenfalls treffen?

Prof. *Pfeifer*: Auch der IMEKO-Weltkongreß wies diesbezüglich ein ausgewogenes Verhältnis auf. Durchweg waren die Vorträge von einem hohen wissenschaftlichen Niveau geprägt, die in großer Zahl auch eine gute Anwendungsbezogenheit erkennen ließen. Dies deutet auf hervorragende Forschungsleistungen auch in den Industrieunternehmungen hin. Aber ich möchte darauf hinweisen, daß der IMEKO noch eine zusätzliche Komponente innewohnt. Das sind die staatlichen Norm- und Eichanstalten und Warenprüfungsunternehmungen, deren Anteil am Kongreßprogramm und -ablauf ebenfalls bemerkenswert ist und die die IMEKO als dritte Säule neben dem Bereich Hochschulen/Akademien und Industrie stützen.

msr: Herr Prof. *Pfeifer*, recht herzlichen Dank für Ihre informativen Aussagen.

msr 7099 (Das Interview führte Dr.-Ing. *D. Werner*, Verantw. Redakteur der msr).

Neu- und Weiterentwicklungen der Medizin- und Labortechnik auf der Leipziger Herbstmesse 1982

Auf den Exponatenlisten des VEB Kombinat Medizin- und Labortechnik Leipzig (MLW) standen auch zu dieser Herbstmesse wieder allein über 30 Neu- und Weiterentwicklungen für die verschiedensten Anwenderbereiche, die sich durch hohes technisches Niveau, hervorragende Gebrauchseigenschaften und vielfältige Anwendervorteile auszeichneten.

Der neue **Dampfsterilisierautomat** verfügt über zwei pneumatische Schiebetüren mit automatischen Türdichtungen sowie eine Sterilisierkammer aus rost- und säurebeständigem Stahl. Er arbeitet im fraktionierten Vorvakuumverfahren in den Temperaturbereichen 122 °C und 134 °C. Ein zusätzliches Sonderprogramm ist möglich. Weitere Anwendervorteile bringen die elektronische Steuerung des gesamten Funktionsablaufes und die mögliche Optimierung der Sterilisationsparameter durch die Eingabe des Füllungsgrades des Nutzraumes.

Ein neuer **Kleinsterilisator** für Arztpraxen, Unfallstationen, Gemeindeschwesternstationen sowie ausgewählte Einsatzfälle in Kliniken und Krankenhäusern zeichnet sich vor allem durch den automatischen Ablauf des Sterilisationsvorganges mit optischer Anzeige der Betriebszustände, den kubischen Nutzraum in nichtrostender Stahlausführung, den Übertemperaturschutz, die Sicherheitsverriegelung der Tür und die moderne Formgestaltung aus.

Eine neue **Thermostatenbaureihe** (Bild), die aus sieben verschiedenen Thermostaten mit unterschiedlichen Badvolumina von 4 bis 16 l besteht, arbeitet nach dem bewährten Flüssigkeitsumwälzprinzip. Die Thermostaten sind zur genauen Konstanthaltung von Meß- und Reaktionstemperaturen für alle temperaturabhängigen Laboruntersuchungen hervorragend geeignet und verfügen über wichtige Sicherheitsfunktionen, wie Übertemperaturschutz, Unterniveauschutz und thermischen Motorschutz. Die neuen Thermostate verfügen über elektronische Regler zur Proportionalregelung. Der Temperaturbereich liegt zwischen −60 °C (mit Zusatzgeräten) und +260 °C. Alle mit der Badflüssigkeit in Berührung kommenden Teile bestehen aus Chrom-Nickel-Stahl.

Für das **Rotationsviskosimeter Rheotest 2.1.** wurde eine neuentwickelte **mikroprozessorgesteuerte Auswerteeinheit** offeriert, die zur Erfüllung spezieller Kundenwünsche programmierbar ist. Mit vier Grundrechenarten, Konstantenrechnung, Festkomma, sieben Stellen u. a. verfügt sie über eine anspruchsvolle Arithmetik. Die Erfassung und Berechnung der Meßwerte erfolgt vollautomatisch, die Steuerung durch Tasten und Zahlenschalter. Fehlbedienungen sind ausgeschlossen. Die neue Auswerteeinheit ermöglicht exakte Fließgrenzenbestimmungen. Sie senkt den Meßaufwand ganz erheblich, und über Interface erfolgt die direkte Auswertung durch die Ausgabe von Meßwerten in kürzester Zeit.

Die Weiterentwicklung der bewährten **Tischzentrifuge T 52**, die mit einer Goldmedaille der Leipziger Messe ausgezeichnet wurde, entspricht den Erfahrungen und den Forderungen des internationalen Marktes. Ein System von sieben verschiedenen Mehrfachträgern für 10 unterschiedliche Volumina gewährleistet jetzt entsprechende Variationsmöglichkeiten für die international üblichen Untersuchungsmethoden.

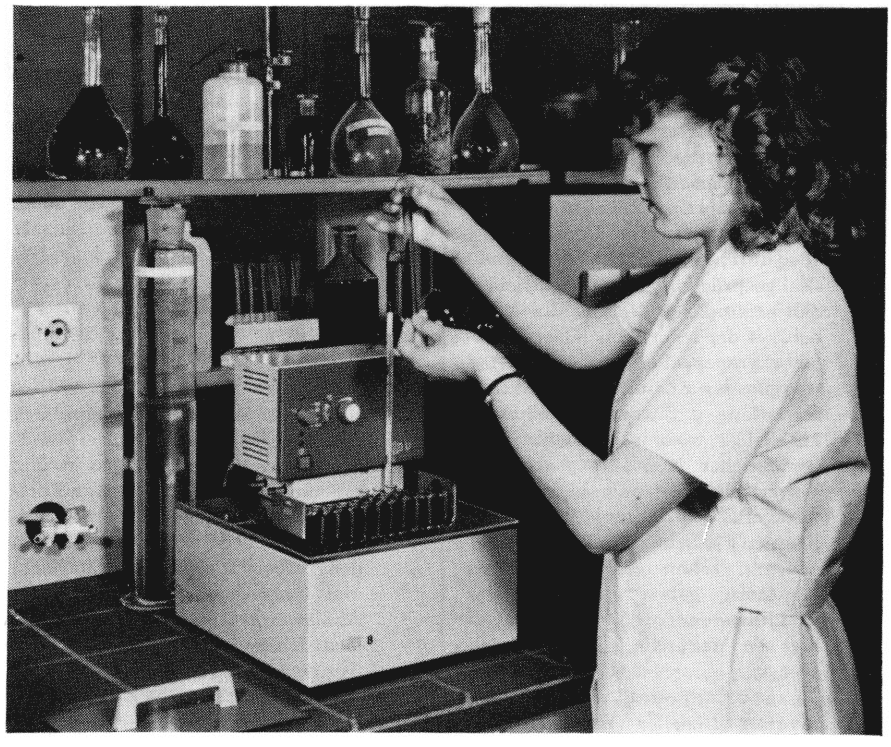
Durch den Einsatz mikroelektronischer Schaltkreise wurden bedeutende Gebrauchswerterhöhungen bei der Weiterentwicklung verschiedener Zentrifugen erreicht. Bei der **Ultrazentrifuge UP 65** liegen die neuen Anwendervorteile vor allem in der weiteren Verbesserung der Bedienung, der Temperaturmeßtechnik und der Überwachung der Maschinenparameter.

Das technische Niveau der **Tischzentrifuge T 62** wird durch neue elektronische Steuerungen noch weiter erhöht. Entscheidende Verbesserungen speziell für den Routinebetrieb bringen vor allem der Drehzahlregler und die vom Anwender vorwählbaren drei Drehzahl-Zeit-Programme durch die gute Reproduzierbarkeit der Maschinenparameter und den großen Drehzahlbereich.

Zu den wertvollsten Weiterentwicklungen für die Branchenausstellung Medizintechnik anläßlich der Leipziger Herbstmesse 1982 zählten u. a. ein Inhalationsnarkosegerät mit Sauerstoffausfallwarnung und Lachgassperre, ein Patientenanschluß für Beatmungsgeräte, ein Haltearm für Medikamentenvernebler, ein Staudruckgerät für die Extremitätenchirurgie sowie zwei Regenerationsgeräte für den Gasschutz und das Grubenrettungswesen.

msr 7701 *W. Seidel*

Bild. Experiment am neuen Thermostat U 8



Diskussionsbeitrag:

A/D-Umsetzung bei der Meßdatenerfassung, insbesondere unter dem Aspekt der Kopplung mit dem Mikrorechnersystem K 1520

Bei der Durchsicht von [1] sind mir im Falle der „Universellen Eingabesteuerung unter Verwendung von zwei PIO-Schaltkreisen", S. 66, Bild 7, einige Unstimmigkeiten aufgefallen, die ich gern berichtigen möchte.

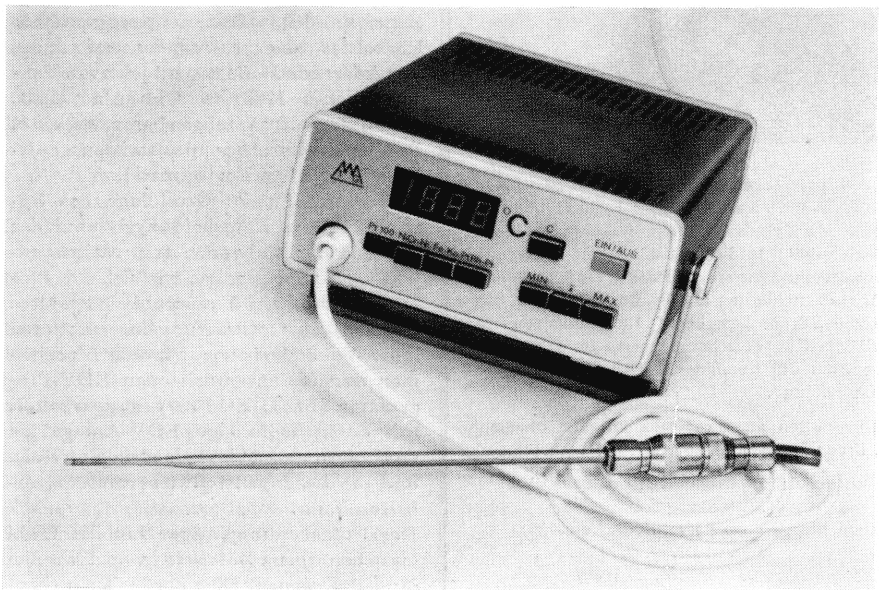
1. Die Ankopplung der PIO's an den Datenbus erfolgt über zwei Bustreiber vom Typ MH 8216. Die Richtungsumschaltung (/DIEN) zum K 1520-Systembus erfolgt allein bei aktivem Read-Signal (/RD = 0). Damit ist die Übernahme eines Interrupt-Vektors aus den PIO's unmöglich und somit der leistungsfähige Interrupt-Mode 2 der CPU (IM 2) nicht verwendbar. Für diesen Fall ist aber eine Aktivierung der Datenbustreiber (/CS-Signal) im Interrupt-Anerkennungszyklus überflüssig (IS 14/2, IS 6/1).
   Für die Richtungsumschaltung sollte gelten:
   /DIEN = IORQ. (RD. (CEPIO1 v CEPIO2) v M1.IEI. /IEO).
   In diesem Fall könnte auf eine Deaktivierung der Datenbustreiber verzichtet werden (/CS konstant 0).
2. Die PIO-Bausteine haben für das Interrupt-Signal einen „open-drain"-Ausgang, (s. TGL 35837). Für die einwandfreie Funktion ist daher ein Hochziehwiderstand (z. B. 1,5 K Ω) nach +5 V erforderlich. Die verwendete Schaltung ist umständlich, da die open-drain-Eigenschaft nicht ausgenutzt wird. Danach könnten nämlich die Interrupt-Ausgänge direkt zusammengeschaltet werden und die zusätzlichen Gatter (IS 12/4, IS 13/3) entfallen. Als Hochziehwiderstand würde der betreffende Widerstand der ZRE-Platine fungieren. Sollen die Gatter (zur Verringerung der kapazitiven Belastung der Interrupt-Leitung des Systembusses) in der Schaltung verbleiben, ist ein gemeinsamer Hochziehwiderstand nachzusetzen.
3. Bei der Bildung der /CE-Signale für die PIO's sind allein die Adreßbits A 7 ... A 0 ausreichend (PIO-Eigenschaft!). Beim Interrupt-Anerkennungszyklus
   (/IORQ = M1 = /IEI = 0, /IEO = 1)
   muß das /CE-Signal daher **nicht** gebildet werden. Damit sind die betreffenden Gatter (IS 3/1, 2, 3, 4 und IS 14/1) unnötig.
4. Die Aufbereitung des Taktes Φ kann durch ein Gatter für beide PIO's gemeinsam erfolgen (IS 13/1 ist überflüssig). Der Hochziehwiderstand ist — wegen der geforderten Anstiegs- und Abfallzeit von 30 ns sowie $U_{IHC} = U_{cc} - 0{,}2\ V = 4{,}8\ V$ minimal — möglichst niederohmig (z. B. 330 Ω) zu wählen.

Literatur

[1] *Krauß, M.; Jehmlich, W.; Engewald, J.:* A/D-Umsetzung bei der Meßdatenerfassung, insbesondere unter dem Aspekt der Kopplung mit dem Mikrorechnersystem K 1520. msr **25** (1982) H. 2, S. 62–67. msr 7714 *W.-D. K.*

Digitalthermometer mit Mikrorechner

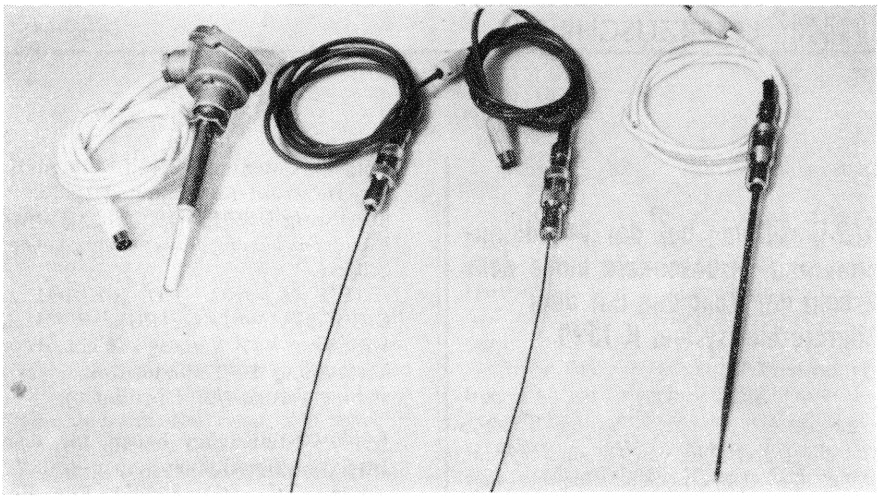
Für die Messung der Temperatur gibt es zur Zeit aus der DDR-Produktion keine Digitalmeßgeräte. Mit dem im folgenden beschriebenen Gerät soll diese Lücke geschlossen werden. Zielstellung bei der Entwicklung war es, ein Präzisionsmeßgerät zu schaffen, das in seinen Eigenschaften so gut ist, daß die angeschlossenen Fühler die erreichbare Genauigkeit bestimmen.
Alle zur Zeit verfügbaren Temperaturfühler, wie Platinwiderstandsthermometer und Thermoelemente, weisen einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen dem temperaturabhängigen Parameter und der Temperatur auf. Diese Tatsache macht eine Linearisierung erforderlich. Bekannte Lösungen verwenden einen Verstärker mit einem Linearisierungsnetzwerk, an dessen Ausgang eine Spannung entnommen werden kann, die der gesuchten Temperatur proportional ist. Die Weiterverarbeitung erfolgt dann durch einen linear arbeitenden AD-Umsetzer, der die Anzeigeeinheit ansteuert.



Stellt man hohe Forderungen an die Genauigkeit, ist für die Linearisierung ein sehr hoher Aufwand erforderlich. Außerdem benötigt jeder Fühler sein eigenes Linearisierungsnetzwerk. Aus diesen Gründen wurde bei der Entwicklung eines Digitalthermometers auf eine Linearisierung im Analogteil völlig verzichtet. Die Zuordnung der temperaturabhängigen Größe zur Temperatur erfolgt

im Digitalteil. Die Kennlinien der vorgesehenen Temperaturfühler sind im Gerät abgespeichert. Diese Konzeption machte den Einsatz eines Mikrorechners erforderlich. Verwendet wurde das System U 880. Als Analogteil kam eine Eigenentwicklung des VEB Thermometerwerk Geraberg zum Einsatz.
An das Gerät (Bild 1, Seite 649) können über einen Steckverbinder wahlweise folgende Fühler (Bild 2) angeschlossen werden:

	Temperaturbereich
— Platinwiderstandsthermometer Pt 100	−200 ... +850 °C
— Thermoelement Fe-Ko	−200 ... +900 °C
— Thermoelement — NiCr-Ni	−200 ... +1300 °C
— Thermoelement PtRh30-PtRh6	300 ... +1800 °C

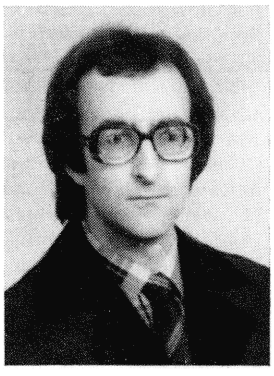


Die Meßgenauigkeit beträgt 1/5 der Fühlergenauigkeit. Im Bereich −200 bis +200 °C ist die Auflösung 1/10 K, darüber 1 K. Die Meßrate liegt bei etwa 1 mal je Sekunde. Das Gerät hat die Zusatzfunktionen Maximalwertspeicher, Minimalwertspeicher und Mittelwertbildung über drei Minuten.

msr 7712 *D. Schild; M. Trommer*

msr DISSERTATION

Ausarbeitung der Grundlagen und experimentelle Erprobung eines entscheidungsvorbereitenden Systems für die Bewertung und Auswahl von Neuerungsprozessen (Projekten)



Mathias Weber wurde 1954 in Greifswald geboren; 1973 bis 1978 Studium in der Fachrichtung Ökonomische Kybernetik an der Moskauer Staatlichen Universität; 1978 bis 1982 Arbeit als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Sozialistische Wirtschaftsführung an der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner"; 1982 Aufnahme einer Tätigkeit als Forschungsökonom im Forschungszentrum des Kombinates VEB NARVA „Rosa Luxemburg".

Dissertation an der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner", 30. April 1982.

Doktorand: Dipl.-Wirtschaftsmathematiker *M. Weber*
Gutachter: Prof. Dr. sc. *H.-D. Haustein*
Dozent Dr. sc. *G. Zellmer*
Dr. rer. nat. *J. Wolff*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" entliehen werden.

msr 7708 Dr. sc. oec. *M. Weber*, Institut für Sozialistische Wirtschaftsführung, 1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 8.

In der Dissertationsschrift werden Konfiguration, Möglichkeiten und Grenzen sowie Wege zur Vervollkommnung eines entscheidungsvorbereitenden Systems (EVS) zur Bewertung und Auswahl von Innovationsprojekten dargestellt. Dieses System mit dem Akronym ESPRA erfaßt weitgehend die Spezifik der Entscheidungssituationen in Neuerungsprozessen (multiple Kriterien, sequentieller Charakter der Entscheidungsfindung, dominierende Rolle des subjektiven Faktors, hohes Maß an Unbestimmtheit, Vielzahl nichtformalisierbarer Aspekte, Programmcharakter des wissenschaftlich-technischen Fortschritts).
Die konzeptionelle Grundlage des Systems bilden Entscheidungsbäume der zur Auswahl stehenden Innovationsprojekte. Es wird gezeigt, wie sich die Projektbewertung und -auswahl als Problem der linearen Optimierung interpretieren läßt. Vom Verfasser wurden Algorithmen und die entsprechenden EDV-Programme (PL/1, EC 1020) ausgearbeitet, mit deren Hilfe eine EDV-Anlage die Optimierungsprobleme aufstellen, lösen und die Lösungen teilweise weiterverarbeiten kann.
Der Entscheidungsträger hat die Wahl zwischen grundsätzlich verschiedenen Modellversionen. Eine der bisher rechentechnisch umgesetzten Modellversionen verbindet lineare Optimierung mit Simulation, eine weitere stellt ein E-Modell der stochastischen linearen Optimierung dar. Letztere kann mit mehreren Methoden der Entscheidungsfindung unter mehrfacher Zielsetzung gekoppelt werden, von denen zwei ausgewählt, programmiert und erprobt wurden (die STEP-Methode und die Zielprogrammierung).
Die EDV-Programmkomplexe eröffnen die Möglichkeit, Grenzlösungen zu berechnen, falls die Größe des mathematischen Problems die Lösbarkeit mit Hilfe vorhandener Standardprogramme ausschließt oder die ökonomisch vertretbare Rechenzeit zur Aufstellung und Verarbeitung der Optimierungsprobleme überschreitet.
ESPRA erlaubt die Berechnung von Risikokoeffizienten für Projektprogramme sowie die Einbeziehung von Methoden der kollektiven Entscheidungsvorbereitung. Die Integration der für den spezifischen Zweck teilweise erstmalig angewandten und für die konkreten Bedingungen angepaßten Methoden hat sich bei praktischen Berechnungen bewährt.
Die bereits programmierten mathematischen Methoden können in der Zukunft durch weitere ergänzt werden, wodurch die Arbeit eines Entscheidungsträgers mit ESPRA zunehmend erleichtert und effektiver wird.
Wichtige Wege der Weiterentwicklung von ESPRA sind:

- Herstellung der Einheit von Makro- und Mikroanalyse durch die Verbindung der EVS-Methodologie mit der Strukturmodellierung
- verstärkte Nutzung von Methoden der kollektiven Entscheidungsvorbereitung
- Ausdehnung der Projektbewertung und -auswahl auf die vorrangig qualitativen Phasen.

TECHNIK-WÖRTERBUCH — Mathematik. Englisch — Deutsch — Französisch — Russisch. 1. Aufl. Von *R. Stube* und *G. Eisenreich*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 1458 Seiten, 120,— Mark.
Bestell-Nr. 552855 4

Dieses Viersprachenwörterbuch umfaßt etwa 35000 Wortstellen und besteht aus zwei Bänden, einem Registerband mit den Ausgangssprachen Deutsch, Französisch und Russisch sowie einem Hauptband, der den ausgewählten Wortschatz aller vier Sprachen — nach englischen Stichworten alphabetisch geordnet — enthält. Hinter jedem Stichwort finden sich Kürzel zur Fachgebietsspezifizierung für die Begriffsverwendung. Eine solche Zuordnung, für die das Wörterbuch 58 Kürzel vorsieht, stellt ein Novum bei den viersprachigen TECHNIK-WÖRTERBÜCHERN dar und dürfte von den Nutzern sehr begrüßt werden. Ähnliches gilt für das ausdrückliche Bemühen der Autoren um die teilgebietsorientierte Berücksichtigung von Synonymen und Homonymen. Damit wird dem Entwicklungsstand der Grundlagenwissenschaft Mathematik, die heute über sehr zahlreiche Spezialgebiete und damit über eine außerordentliche Begriffsvielfalt verfügt, in der in einem Wörterbuch möglichen Form Rechnung getragen. Mit der Akzentsetzung auf reine Mathematik wird eine klare Abgrenzung des Wortschatzes ausgewiesen und eine Überschneidung mit anderen TECHNIK-WÖRTERBÜCHERN, die von der Applikation her Bezug zur Mathematik nehmen, z. B. Rechentechnik und Informationsverarbeitung, weitestgehend ausgeschlossen. Vom Worttyp her herrschen Substantive und deren verschiedene Komposita vor, wobei die Wortauswahl von den Belangen sprachmittlerischer Tätigkeit getragen wird. Vom Inhalt her finden sich als Teilgebiete beispielsweise bezüglich

- Grundlagen der Mathematik: u. a. Axiomatik, Aussagen- und Prädikatenkalkül, nichtklassische Logik und Mengentheorie
- Algebra: u. a. lineare und universelle Algebra, Gruppen- und Zahlentheorie
- Topologie: u. a. algebraische Topologie, Homologietheorie und Graphentheorie
- Analysis: u. a. Differential- und Integralrechnung, DGL'en, Randwert- und Eigenwertprobleme, Funktionalanalysis, Approximationstheorie und numerische Methoden
- Stochastik: u. a. Fehlertheorie, stochastische Prozesse und angewandte Statistik
- Geometrie: u. a. Elementargeometrie, analytische Geometrie, projektive Geometrie und Differentialgeometrie.

Diese sehr sorgfältig erarbeitete Publikation kann als eine besonders gelungene Bereicherung des TECHNIK-WÖRTERBUCH-Sortiments eingeschätzt werden. Sie dürfte nicht nur für den Mathematiker, sondern auch für alle diejenigen interessant sein, die sich bei der Arbeit mathematischer Methoden bedienen und sich für die internationale Fachkommunikation bei der Auswahl der fremdsprachlichen mathematischen Termini gern beraten lassen möchten.

B 1654 *H. Rudolph*

Mikroelektronische Schaltkreise. Entwurf und Anwendung hochintegrierter Digitalschaltkreise. Von *A. Möschwitzer* und *G. Jorke*. 2. bearbeitete Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 379 Seiten, 421 Bilder, 13 Tafeln, 32,— Mark.
Bestell-Nr. 552952 2

Dieses Lehrbuch für Fortgeschrittene will Kenntnisse vermitteln, die für Entwurf und Anwendung von LSI-Schaltkreisen notwendig sind. Es besteht aus 6 Kapiteln und einem Anhangteil. Im ersten Kapitel werden bipolare und MOS-Transistoren und ihre Modellierung sowie die Grobdimensionierung von Bauelementen beschrieben.
Kapitel 2 führt Grundschaltungen, vom Negator bis zum Arithmetikblock und zu Halbleiterspeichern, technologiebezogen vor. Einige Aspekte der Simulation analoger und digitaler Schaltungen behandelt Kapitel 3. Bei der Logiksimulation kommen nur das statische Verfahren und eine sehr einfache Variante der Zeitbehandlung in der dynamischen Simulation zur Sprache. Diese Ansätze werden auf Register-Transfer- bzw. Blockniveau (PLA, ROM) erweitert und sind an eigenen implementierten Verfahren der Verfasser orientiert (im Anhang sind einige interessante Teilalgorithmen für Modellierung angeführt). Kapitel 4, Logikentwurf, weist auf einige klassische Boolesche Minimierungsverfahren hin und gibt dann einige Möglichkeiten zum Entwurf, insbesondere mit PLA, an. Entwürfe für kleine Anschlußsteuerungen schließen sich an. Diese Thematik wird weitergeführt im Abschnitt „Entwurf von Mikrorechnerperipherieeinheiten" bis zur Behandlung komplexer Blöcke. Wirkprinzipien und Funktionsblöcke von Mikrorechnern werden auf der Basis des Z80 im fünften Kapitel erläutert. Kapitel 6 nennt kurz einige Etappen und Probleme, die bei der konventionellen Layouterstellung eine Rolle spielen.
Leider fehlt dem Buch eine gewisse systematische Konsequenz, wie dies für ein Lehrbuch auch für Fortgeschrittene typisch sein sollte. So wird der Synchronzähler auf S. 123 gewiß nicht funktionieren, wenn er mit den zuvor (Bild 2.41) eingeführten JK-Flipflop und nicht mit dem später (Abschnitt 2.3.1.) erst behandelten JK-Master-Slave-Flipflop aufgebaut wird (vgl. auch das Impulsdiagramm Bild 2.47b). Das für die Dynamik sehr bedeutsame Master-Slave-Prinzip wird nicht hier, sondern erst viel später, im Simulationskapitel, ausführlicher erläutert. Auch hier wird der Leser Einordnung und kritische Wichtung der vorgestellten Simulationstechniken angesichts der verfügbaren Analyseprinzipien vermissen; auf die Potenzen von Hardwarebeschreibungssprachen wird nicht eingegangen. Sinnvoll wäre es, beim Entwurf auch auf die Frage der Diagnose mit einzugehen. Im Layoutkapitel fehlen grundsätzliche Bemerkungen zum Verhältnis von Universalschaltkreis- und Kundenentwürfen, das von erheblicher Bedeutung für die Wahl der Verfahren ist. Hier hätten Bemerkungen über Master-Slice-Verfahren, Polyzellen, symbolisches Layout usw. ihren guten Platz gehabt.
Der Leser findet in diesem Buch viele interessante Ansätze. In verschiedene Teilgebiete der Mikroelektronik kann er sich bei Vorkenntnissen schnell einen Einblick verschaffen. Jedoch sollte in einer dritten Auflage beim Literaturverzeichnis mehr Wert auf die wesentlichen und grundlegenden Titel gelegt werden; außerdem sollten die gegenwärtig stark diskutierten und aussichtsreichen Methoden des Kundenentwurfs mit eingearbeitet werden.

B 1642 *K.-A. Zech*

Programmierung des Mikroprozessorsystems U 880—K 1520. 2. Aufl. Von *L. Claßen*. Band 192 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 80 Seiten, 13 Bilder, 11 Tafeln, 4,80 Mark.
Bestell-Nr. 552989 9

Die Notwendigkeit zur Herausgabe der 2. Auflage des Bandes zeigt das derzeitig starke Interesse für Fragen der Mikroelektronik. Mit der Darstellung eines Gerätesystems der programmierbaren digitalen Mikroelektronik — des Mikrorechners U 880 — wird sicher das Informationsbedürfnis des tatsächlich interessierten Lesers zum Teil befriedigt. Der Anspruch des Vorwortes „Der Band wendet sich ... an den Anfänger, um ihm den Einstieg in die Programmierungsprobleme ... zu erleichtern ..." und die Erwartung an den Titel des Bandes werden nicht erfüllt. Auch der vorliegende Band deckt nicht die gewaltige Lücke an Literatur zur Programmierung „von Neumannscher" Rechenanlagen, zu denen auch das System U 880 zu zählen ist.

Insbesondere würde man Ausführungen über Besonderheiten zur Methodik der Erstellung und Testung von Programmen für Mikrorechner erwarten. Das Buch gibt jedoch einen sehr guten Überblick über die Architektur einschließlich der Befehlsstruktur des Systems U 880 und ist eine wertvolle Hilfe für den Entwickler vor der Nutzung der Systemdokumentation, ähnlich den Bänden 80/81 und 140/143 für andere Rechnersysteme. Der Band wendet sich deshalb nicht an den Anfänger (im Sinne der Nutzung der Rechentechnik), sondern an den Kenner anderer Rechnersysteme, der damit einen schnellen Einstieg in das Rechnersystem U 880 findet.

B 1640 *W. Kalfa*

Grundlagen der Elektrotechnik. 6., durchgesehene Aufl. Von *E. Philippow*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 984 Seiten, 674 Bilder, 11 Tafeln, 51,— Mark.
Bestell-Nr. 552943 4

Dieses seit über 20 Jahren bekannte Lehrbuch der Elektrotechnik erfaßt inhaltlich wesentlich mehr als man üblicherweise unter Grundlagen versteht. Es erfaßt neben ausführlichen Feldberechnungen unter Einbeziehung der Differentialoperatoren auch Stromkreisberechnungsmethoden bei Gleich-, Wechselstrom, nichtsinusförmiger Erregung und für Ausgleichsvorgänge (letzteres auch mit Laplace-Transformation). Etwa 100 Seiten sind auch dem Mechanismus der Stromleitung gewidmet, wobei die Vorgänge im Festkörper (Metalle, Dielektrika, Halbleiter), beim Elektronenaustritt aus Metallen (Emissionsmechanismen) sowie im Elektrolyt, im Gas und im Vakuum ausführlich beschrieben werden. Es werden hierfür wesentliche Theorien und Betrachtungsweisen (Bändermodell, Stoßionisation, Schottky-Napfmodell, Tunneleffekt usw.) sowie technisch wichtige Anwendungen (pn-Übergang, Lichtbogen, Funken, Elektronenröhre usw.) erläutert.
Auch die Abhandlungen über das elektrische, magnetische und elektromagnetische Feld und über die Netzwerke werden mit vielen technischen Beispielen unterstrichen, die in einer sehr detaillierten Inhaltsübersicht aufzufinden sind.
Eine wertvolle Ergänzung der letzten beiden Auflagen sind die Verfahren zur numerischen Berechnung elektrischer Felder (Gittermethoden für das zwei- und dreidimensionale Feld). Die Rechenvorgänge werden durch Flußbilder dargestellt. Auch die Monte-Carlo-Methode wird an einem Beispiel erläutert. Damit wird auch die Anwendung des Digitalrechners in dies sehr umfassende Grundlagenwerk einbezogen. Es enthält sehr weit gefaßte Grundlagen der theoretischen Elektrotechnik mit physikalischen Aspekten und starker Orientierung auf technisch interessante und theoretisch durchschaubare Beispiele.
Auch diese Auflage wird guten Anklang finden bei Studenten und theoretisch interessierten Ingenieuren der Praxis.

B 1641 *K. Lunze*

Numerische Verfahren der diskreten Optimierung (Modelle-Algorithmen-Komplexität). Von *J. Terno*. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1981. 168 Seiten, 17,— Mark.

Das Buch gehört zur Reihe „Teubner-Texte", deren Ziel darin besteht, Forschungsergebnisse und Spezialvorlesungen aktuell und schnell zu publizieren. Dieses Buch ist aus Vorlesungen hervorgegangen, die der Autor an der Technischen Universität Dresden über diskrete Optimierung gehalten hat. Das Buch will eine Brückenfunktion zwischen den Anwendern und der Theorie der diskreten Optimierung übernehmen. Es muß eingeschätzt werden, daß dieses Ziel auch erreicht wurde. Denjenigen, die als Anwender dieses Buch studieren wollen, will die gegebene Darstellung ein Wegweiser für moderne und auch übergreifende Probleme sein. Es wird eine sehr gute Übersicht gegeben und repräsentativ aufgezeigt, was heute alles unter diskreter Optimierung verstanden wird. Im Kapitel 1 werden für 7 Gebiete, die zur diskreten Optimierung Modelle beisteuern, insgesamt 26 Probleme, beschrieben. Neben der ganzzahligen Optimierung seien auszugsweise genannt: Kürzeste Wege und Rundreisen, Labyrinthproblem, Permutationsprobleme, Dynamic storage allocation, Turing-Maschinen, Äquivalenz, Klassische Zuschnittprobleme und Ungarischer Würfel. Die nachfolgenden beiden Kapitel beziehen sich auf Algorithmen (Befehlsfolgen auf idealisierten oder realen Rechnern) und Komplexität. Das nachfolgende 5. Kapitel, das etwa 50% des Buches ausmacht, bringt spezielle Probleme und zugehörige Algorithmen, von denen 22 ausführlich notiert sind. Zu ihnen gehören: Filtermethode für 0-1-Optimierung, Ordnen von N Zahlen mit KEYSORT, Rucksackproblem. Es werden sorgsam die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Fragestellungen ebenso gebracht wie sehr illustrative Beispiele, z. T. auch mit Angaben von Rechenzeiten, um diesen Aufwand bei gleicher Problemstellung für verschiedene Algorithmen deutlich auszuweisen. Das Buch ist eine Fundgrube für alle diejenigen Anwender, die sich näher und nach neuestem Stand informieren wollen, wobei die 184 nachgewiesenen Quellen das Spektrum der internationalen Literatur erfassen und so viele weitere Anregungen sicher vermittelt werden können. Für den vorgesehenen Leserkreis kann dieses Buch wärmstens empfohlen werden.

B 1611 *G. Schwarze*

Zeitdiskrete und digitale Systeme. Netzwerke IV. Von *G. Fritzsche*. Berlin: Akademie-Verlag 1981. 158 Seiten, 22 Bilder, 25 Tafeln, 8,— Mark.

Dieses Bändchen des bekannten Autors erscheint als letztes einer vierteiligen Folge „Netzwerke" im Rahmen der WTB-Reihe des Akademie-Verlages.
Die Realisierung von Systemen in zeitdiskreter und digitaler Technik ist infolge der jüngsten Fortschritte der Mikroelektronik hochaktuell und gewinnt zunehmend an Bedeutung.
Es ist sehr begrüßenswert, daß mit diesem Titel theoretische Grundlagen und Entwurfsprinzipien solcher Systeme kurzgefaßt, übersichtlich und anwendungsbetont vorgestellt werden. Die Hauptabschnitte sind wie folgt bezeichnet:

1. Diskrete Signale
2. Analyse zeitdiskreter Systeme
3. Entwurf zeitdiskreter Netzwerke
4. Besonderheiten digitaler Systeme
5. Realisierungsarten und Anwendungen.

Der Inhalt kann etwa durch folgende Stichworte charakterisiert werden: Abtasttheorem, z-Transformation, diskrete Fourier-Transformation, schnelle Fourier-Transformation, zeitdiskrete Systeme im Zeit- und Bildbereich, Zustandsgleichungen, Frequenzgänge, rekursives und nichtrekursives System, kanomische Strukturen, Approximation von Vorschriften im Zeit- und Frequenzbereich, Zusammenhang mit zeitkontinuierlichen Bezugsfiltern, Amplitudenquantisierung und digitale Zahlendarstellung, technische Realisierung, Anwendungsgesichtspunkte. Trotz der Betonung der Grundlagen ist das Buch sehr praxisnah angelegt. Zahlreiche Beispiele und Tafeln erhöhen die Anschaulichkeit der Stoffdarstellung. Die Publikation ist als Einführung für Direktstudium und Weiterbildung im Bereich der gesamten Elektronik zu empfehlen.
Das „echte" Taschenbuchformat könnte dazu beitragen, den Wirkungsgrad vieler Dienstreisen zu erhöhen.

B 1610 *D. Kreß*

Systemanalyse · Modellierung · Simulation · Modellbildung und Simulationstechniken. Ausgewählte Beiträge der 8. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierung und Simulation", Rostock, 12. bis 14. Dezember 1979. Herausgegeben von *A. Sydow*. Berlin: Akademie-Verlag 1981. 124 Seiten, 33 Bilder, 2 Tafeln, 16,— Mark.

Die automatische Steuerung komplexer Prozesse oder der Entwurf von Entscheidungsvarianten für den Menschen in teilautomatisierten Prozessen erfordert immer mehr die Anwendung von Methoden der Modellbildung, Simulation und Optimierung. Die vom Autor ausgewählten Beiträge der Tagung, die sich insbesondere mit Problemen der Strate-

gie der Simulationstechnik, der unscharfen Modellbildung und Steuerung sowie der Modellierung, Simulation und Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse beschäftigen, geben einen guten Einblick in das breite Spektrum der zu lösenden Probleme.
Die Mehrzahl der Beiträge hat den Charakter von Übersichtsarbeiten, in denen Strategien, vergleichende Untersuchungen und Übersichten über realisierte Anwendungen gegeben werden. Dies trifft besonders für die Gruppe der Beiträge zur Simulationstechnik und zur Modellierung unscharfer Systeme zu. Neue theoretische Gesichtspunkte werden zum Problem der Simulation bei Anwendung der Parallelverarbeitung mit Mikroprozessoren und zur Simulation von Systemen mit verteilten Parametern unter Verwendung des Prinzips der Mehrebenensteuerung in diesen Komplexen vorgestellt. Der dritte Komplex enthält Beiträge zur Modellierung und Simulation verfahrenstechnischer Prozesse mit dem Ziel des Entwurfs optimaler Steuerungen. Neben Übersichtsarbeiten zu entworfenen Simulations- und Optimierungssystemen werden Probleme der digitalen Simulation im Dialogbetrieb erörtert.
Die vom Autor ausgewählten Beiträge geben dem Leser einen guten Überblick über den Stand der Arbeiten auf wichtigen Teilgebieten der Modellbildung und Simulation. Die einzelnen Beiträge sind für den interessierten Fachmann sehr gut als Ausgangspunkt für weitergehende Untersuchungen auf dem so wichtigen Gebiet zur Steuerung komplexer Prozesse zu verwenden.

B 1622 *J. Wernstedt*

Angewandte Strukturtheorie. Von *E. Stuschek*. Berlin: Akademie-Verlag 1981. 196 Seiten, 55 Bilder, 30 Tafeln, 26,— Mark.

Automatisierte Systeme zur Leitung und Steuerung technologischer diskreter Prozesse haben großes allgemeines Interesse. Daher besteht naturgemäß auch das Bedürfnis, dafür benötigte allgemeine Grundlagen und Theorien einschließlich Begriffsbildungen für eine ingenieurmäßige Anwendung in der Informationsverarbeitung darzustellen. Diese Problematik wurde innerhalb einer Arbeitsgruppe von *H. Stahn* aufgegriffen und bearbeitet. Der Autor arbeitete in dieser Arbeitsgruppe mit, und sein Manuskript wurde daher auch umfassend in diesem Rahmen diskutiert, so daß eine repräsentative Darstellung des nachfolgend abgegrenzten Stoffgebietes gegeben wurde: In der Informationsverarbeitung werden reale oder abstrakte Systeme und die in ihnen ablaufenden Prozesse mit mengentheoretischen und algebraischen Mitteln beschrieben, die in der Mathematik jeweils in speziellen Teilgebieten behandelt werden. Hierzu gehören die Algebra, die Graphentheorie, die Theorie metrischer Räume u. a. m. Als Ergebnis einer langjährigen Arbeit wird nun hier vorgestellt, daß die für o. a. Zwecke benötigten Begriffe sich alle darstellen lassen, wenn man den hier beschriebenen Begriff einer bestimmten Struktur $S = (M, N; f)$ verwendet. So gelangt man zu einer einheitlichen mathematischen Behandlung von praktisch relevanten Analyse- und Syntheseproblemen innerhalb der Informationsverarbeitung. Das ist im Kapitel 3 dargestellt, das etwa 2/3 des Buches ausmacht. Als mathematisches Hilfsmittel wird dafür ein erweiterter Matrizenkalkül für quadratische Matrizen über einem kommutativen Semiring mit Bull- und Einselement benötigt, der in Kapitel 2 dargestellt ist.
Der abschließenden Bemerkung des Autors in der Einführung: „Der hier vorgelegte Beitrag zu einer angewandten Strukturtheorie betont den systematischen und den algorithmischen Realisierungsaspekt, dabei wurde zunächst zugunsten einer knappen Darstellung auf eine strenge mathematische Grundlegung verzichtet" bleibt nur hinzuzufügen, daß das dem Anliegen des Buches adäquate praxisrelevante Beispielmaterial dem Leser das Durchdringen der äußerst komprimierten Darstellung erleichtert.
Das Buch über angewandte Strukturtheorie zeigt deutlich auf, wie unterschiedliche Teile der Mathematik als Arbeitsmittel des Ingenieurs und verschiedene Teilgebiete oder Problemstellungen aus der Informationsverarbeitung zu einer neuen Einheit verschmelzen, was gleichermaßen für die Lehre wie für die Forschung von Bedeutung ist, als Basis für weitere Arbeiten zu den Grundlagen und zur Theorie automatisierter Systeme zur Leitung und Steuerung diskreter technologischer Prozesse. Möge dieses Buch viele interessierte Leser gerade bei den Ingenieuren finden, die die Informationsverarbeitung entwickeln oder nutzen.

B 1612 *G. Schwarze*

Digital Filters (in Russ.). Von *R. W. Hamming*, Moskau: Sovetskoe radio 1980. 224 Seiten, 65 Bilder, 5 Tafeln.

Ungeachtet der Vielzahl an Publikationen zu diesem Thema ist der Name des Autors — bekannt durch Publikationen zur Informationstheorie, Theorie der Kodierung und numerischen Mathematik — Gewähr für eine interessante neuartige Behandlung. Neben der verständlichen Darlegung auch komplizierter Fragen mit tiefer praktischer Bedeutung besticht das Buch durch seinen theoretischen Inhalt. Dieses Buch ist sicher dem Techniker eine gute Hilfe für das Verständnis der mathematischen Grundlagen, gleichzeitig aber auch dem Mathematiker eine Unterstützung zum Verständnis der Probleme der Anwendung der Filtertheorie.
Dienen soll das Buch der Einführung in die digitale Filtertheorie, dementsprechend sind die verschiedenartigen Beispiele für einfachste Filter zur Illustration der behandelten Probleme gedacht. Ausgehend von der Behandlung digitaler Filter als beliebiger linearer Operation mit den zu verarbeitenden Daten untersucht der Autor ausführlich die Spektralanalyse, die ihm als wesentliche Grundlage der Filtertheorie dient. Neben einigen klassischen Anwendungen werden als Grundlage zur Projektierung die Fourier-Analyse einschließlich solcher praktischer Fragen, wie Wahl der Gewichtsfunktion (Fenster), Diskretisierung, Gibbsscher Effekt, behandelt. Daneben enthält die Abhandlung nichtrekursive Filter sowie Probleme der Optimierung, Tschebyschevsche Approximation u. a.

B 1562 *K.-H. Winter*

Was ist ein ASU? Von *O. I. Aven*. Moskau: Nauka 1981. 176 Seiten, 33 Bilder, 4 Tafeln.

Automatisierte Systeme der Leitung (ASU) entstehen gegenwärtig in allen Bereichen der Volkswirtschaft, mit ihrer Entwicklung sind Spezialisten unterschiedlicher Fachrichtungen beschäftigt. Diesem Stand steht eine bislang noch weitgehend unklare Begriffsbestimmung gegenüber. Das hat den Autor zu dieser Broschüre stimuliert.
Ausgehend von der administrativen Steuerung und ihrer notwendigen Automatisierung, die auf der Grundlage eines hohen Entwicklungsstandes der Rechentechnik auch möglich ist, kommt der Autor zu folgender Definition:
„ASU — das ist ein speziell entwickeltes Mensch-Maschine-System zur Steuerung, das zur effektiven (im Sinne eines vorgegebenen Kriteriums) Erfüllung der Steuerungsfunktion vorgesehen ist, wobei die dem System gestellten Ziele unter maximaler Ausnutzung der Möglichkeiten der Grundelemente — Mensch und Maschine — erreicht werden".
Ausführlich behandelt der Autor die Etappen der Einführung der EDV sowie spezielle Anforderungen an die Spezialisten, die ein ASU auf der Grundlage eines vorliegenden Organisationsprojektes entwickeln. Neben den verschiedenen Hardware-Möglichkeiten und den Anforderungen an die Software werden Konsequenzen für die Informationsbasis untersucht, wobei im Vordergrund Datenbanken stehen. Entsprechende Aufgaben der Klassifikation und Normierung der Information sowie die programmtechnische Realisierung werden aus dem erforderlichen Mensch-Maschine-Dialog im funktionierenden ASU hergeleitet. Die Erfahrungen und Anforderungen bei der Entwicklung verschiedener ASU erlaubten dem Autor, die in der Praxis gesammelten Erfahrungen für einen breiten Leserkreis hinreichend zu verallgemeinern.

B 1607 *J. Peters*

Probleme der Entscheidungsfindung bei unscharfer Ausgangsinformation. Von *S. A. Orlovskij*. Moskau: Nauka 1981. 206 Seiten, 14 Bilder.

Mit dem weiteren Vordringen mathematischer Methoden zur Beschreibung und Analyse ökonomischer, sozialer, ökologischer und anderer Systeme zeigt sich immer deutlicher, daß der zur Verfügung stehende traditionelle Apparat nicht ausreichend flexibel für eine hinreichend adäquate Beschreibung realer komplizierter Systeme ist. Das liegt einerseits an der objektiven Unbestimmtheit der Systeme selbst, aber auch an der Unbestimmtheit oder Subjektivität unseres Wissens über diese Systeme. Eine erfolgreiche Anwendung mathematischer Methoden zur Analyse komplizierter Systeme erfordert, diese Unbestimmtheit in den mathematischen Modellen zu berücksichtigen. Schritte in dieser Richtung sind neben der Entwicklung der Theorie der Polyoptimierung insbesondere die von *Zadeh* begründete Theorie der unscharfen Mengen (fuzzy sets). Sie ergibt eine effektive Möglichkeit, unscharfe, qualitative Information, wie sie der Mensch bei der Beschreibung seiner Vorstellung über reale Systeme verwendet, in der formalisierten Analyse zu verwenden. Zu diesem Zweck erweitert *Zadeh* die mathematische Sprache so, daß die unscharfe Ausgangsinformation im mathematischen Modell berücksichtigt werden kann.
Ein nächster Schritt ist nunmehr die mathematische Verarbeitung derartiger unscharfer Information, die Einengung der Menge von Alternativen auf ihrer Grundlage. Das ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit, in der der Autor auf der Grundlage unscharfer Ausgangsinformation auf verschiedene Klassen von mathematischen Formulierungen der Optimalprobleme und spieltheoretischer Probleme kommt. Aufgabe der mathematischen Analyse oder der Entscheidungsfindung ist dann die Einengung der Menge der möglichen Varianten oder Alternativen, das Weglassen nichtrationeller Lösungen.

B 1606 *J.-A. Müller*

Ökonomische Kybernetik in der Produktionssteuerung. Von *I. P. Aldochin*. Charkov: Višča škola 1981. 152 Seiten, 32 Bilder, 4 Tafeln.

Die Steuerung der Produktionsprozesse gehört sicher zu den schwierigsten Arten menschlicher Tätigkeit, ihre effektive Realisierung erlangt unter den Bedingungen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, der mit qualitativen und quantitativen Änderungen in Technik, Technologie und Organisation der Produktion verbunden ist, immer größere Bedeutung. Dabei ist es unbestritten, daß zur Organisation, Planung, Kontrolle und Koordinierung der Produktionsprozesse neben den traditionellen auch neue wissenschaftlich fundierte Methoden erforderlich sind, wobei die ökonomische Kybernetik als die Wissenschaft, die sich mit Problemen der Erhöhung der Effektivität der Steuerung der Produktion beschäftigt, sicher von besonderer Bedeutung ist.
Zur weiteren Entwicklung der ökonomischen Kybernetik ist nach Auffassung des Autors die theoretische Untersuchung kybernetischer Probleme in der Wirtschaft zu verstärken, wobei insbesondere die Anwendung dieser Methoden zur Steuerung der Produktion zu verallgemeinern ist. Diesem Anliegen soll die Monografie dienen; sie wendet sich den Begriffen System, Information, Steuerung und Modellierung aus der Sicht der Anwendung zur Steuerung von Produktionsprozessen in Industriebetrieben zu. Die Möglichkeiten der Methoden der ökonomischen Kybernetik sind mit zahlreichen Beispielen zur Untersuchung komplizierter Produktionssysteme illustriert.

B 1608 *K.-H. Winter*

Optische Nachrichtentechnik. Eine Einführung. Von *G. Grau*. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981. 353 Seiten, 144 Bilder.

Die Lichtleitertechnik hat ihre Wurzeln in vielen speziellen Disziplinen – der Quantenelektronik, der Optik, der Höchstfrequenztechnik, der Halbleitertechnik – aber ihr Einsatzzweck ist rein nachrichtentechnischer Art. Will man ein (heute dringend notwendiges) Hochschullehrbuch über dieses Gebiet schreiben, sollte man deshalb den relevanten Sachverhalt „in einer für den Nachrichtentechniker verständlichen Sprache" darstellen (*Grau*). Man kann dem Autor wohl ohne Einschränkung bestätigen, daß er dieses Ziel durch praxisgerechte Stoffauswahl bei gleichzeitig hohem wissenschaftlichen Niveau und klarem und angenehm lesbaren Stil erreicht hat. Nach einer ausführlichen Einleitung in die Grundproblematik wird auf den Lichtleiter selbst (80 S.), Sende- und Empfangsbauelemente (60 und 40 S.), Rauschprobleme (40 S.), Empfängerdimensionierung (20 S.), Koppelelemente (15 S.) und Systeme (6 S.) eingegangen. Die Begriffe Dämpfung, Dispersion und Modenfelder werden an den Anfang gestellt. Davon ausgehend werden die Monomodenfaser (sehr gestrafft) sowie die Multimodenfaser behandelt; ihre technisch wesentlichen Parameter werden abgeleitet und interpretiert (Strahltypen, Leistungsverteilung im Fern- und Nahfeld, Modendispersion und Profiloptimierung, Impulsantwort, Modenkopplung, Kohärenz). Auf die Messung von Dämpfung, Dispersion und Brechzahlprofil wird gesondert eingegangen. Lumineszenzdiode (Aufbau, Eigenschaften, Modulation, nichtlineares Verhalten) und Laserdiode werden – wie auch sonst im Buch – ohne Scheu vor Zahlenangaben behandelt. Die modernen Bauformen von Laserdioden werden interpretiert, die Theorie des Lasers wird in übersichtlicher Form geboten (Lasermechanismus, Temperaturabhängigkeit, Strahleigenschaften, Spektrum, Modenverhalten, dynamisches Verhalten bei Digital- und Analogbetrieb, notwendige Stabilisierung). Vom Prinzip des Fotoeffekts ausgehend werden pin-FD und APD behandelt (Materialien, Wellenlängenabhängigkeit, stationäres und dynamisches Verhalten). Das Rauschproblem in Lichtleitersystemen wird ausführlich unter besonderer Betonung der für den optischen Bereich typischen und in Theorie und Schlußfolgerungen teilweise noch in Fluß befindlichen Effekte besprochen (Modenverteilungsrauschen, Modenrauschen, Laserrauschen) und die gebotenen Grundlagen anschließend bei der Berechnung der Dimensionierung von analogen und digitalen Empfängern verwendet. Die Behandlung der Koppelproblematik und noch mehr der der Nachrichtensysteme macht notwendige Beschränkungen deutlich, aber auch hier ist wohl eine zweckmäßige Konzentration auf Wichtigstes erreicht worden. Über 400 im Text zitierte Literaturstellen liefern dem Interessenten weitere Informationen. Zusammengefaßt: Ein durch anwendungsorientierte Konzeption und hohes theoretisches Niveau ausgezeichnetes Buch.

B 1586 *W. Glaser*

Nichtlineare Filterung. Von *V. Krebs*. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1980. 322 Seiten, 37 Bilder, 7 Tafeln.

Das in der Serie „Methoden der Regelungstechnik" erschienene Buch stellt eine Einführung in die nichtlineare Schätzungs-(Filter-)Theorie dar. Als System- und Beobachtungsmodelle werden dabei (vektorielle) Markovsche Prozesse zugrunde gelegt, die im Zustandsraum im zeitkontinuierlichen Fall durch stochastische Differentialgleichungen mit weißen Gaußschen Eingangsprozessen bzw. durch entsprechende Differenzgleichungen im zeitdiskreten Fall beschrieben werden. Bezeichnet $\boldsymbol{x}^T(t)$ den Vektor der (nicht direkt beobachtbaren) Zustandsgrößen und Parameter eines stochastisch gestörten Systems und $\boldsymbol{y}^T(t)$ den Vektor der Beobachtungsgrößen, so besteht das Schätzproblem in der Auffindung eines Schätzfunktionales $\hat{\boldsymbol{x}}^T(y_0^t)$ für die unbekannten Systemgrößen aus dem Meßensemble $y_0^t = \{y(t'), t_0 \leqq t' \leqq t\}$. Zur Bestimmung des be-

züglich eines vorgegebenen A-posteriori-Kriteriums optimalen Schätzfunktionales wird i. allg. die vollständige A-posteriori-Dichte $p(x^t/y_0^t)$ benötigt. Unter der einschränkenden Voraussetzung, daß der zu schätzende Vektorprozeß $\boldsymbol{x}^T(t)$ selbst ein Markov-Prozeß ist, werden dem Leser die Rekursionsbeziehungen (im zeitdiskreten Fall) bzw. die Kushner-Stratonovitsch-Gleichung (im zeitkontinuierlichen Fall) unter Verzicht auf eine strenge und ausführliche mathematische Beweisführung zugunsten einer mehr ingenieurmäßigen, plausiblen und damit leicht verständlichen Darlegungsweise hergeleitet und anschaulich erläutert und daraus die Rekursions- bzw. Differentialgleichungen für A-posteriori-Erwartungswerte von Funktionen von $x^T(t)$ abgeleitet. Unter Zugrundelegung dieser Erwartungswertgleichungen werden verschiedene Schätzalgorithmen unter einheitlichem Gesichtspunkt übersichtlich dargestellt und bezüglich des jeweiligen Realisierungsaufwandes diskutiert.

Für lineare Schätzprobleme stellen die Rekursions- bzw. Differentialgleichungen für den A-posteriori-Erwartungswert und die A-posteriori-Streumatrix $\boldsymbol{P}(t)$ ein abgeschlossenes Gleichungssystem, die Kalman- bzw. Kalman-Bucy-Gleichungen, zur Bestimmung der in diesem Fall Gaußschen A-posteriori-Dichte dar.

Für nichtlineare Schätzprobleme muß das Gleichungssystem für $\boldsymbol{x}^T(t)$ und $\boldsymbol{P}(t)$ durch weitere A-posteriori-Charakteristika (z. B. die Momente oder Kumulanten höherer Ordnungen) vervollständigt werden, was in der Regel zu einem unendlichen und verkoppelten Gleichungssystem führt, das praktisch nur noch nähernngsweise realisiert werden kann.

Schwerpunkt der Darlegungen in dem Buch sind lokale Approximationsverfahren durch Taylor-Entwicklungen oder stochastische Polynomentwicklungen der System- und Beobachtungsnichtlinearitäten (Filter 1. und 2. Ordnungen) und die Approximation der A-posteriori-Dichte durch eine Gaußsche. Dabei werden sowohl rein zeitdiskrete und rein zeitkontinuierliche Systeme und Beobachtungsbedingungen als auch das gemischte Problem zeitkontinuierlicher Systeme und zeitdiskrete Beobachtungen behandelt, so daß diesbezüglich ein recht breites Anwendungsspektrum sowohl im technischen (z. B. Synthese von Informationsübertragungssystemen oder Regelungssystemen) als auch nichttechnischen Bereich angesprochen wird.

Durch die überaus anschauliche und leicht verständliche Darlegungsweise vermittelt dieser Band sowohl dem mathematisch interessierten Leser als auch dem Praktiker die wesentlichen Grundlagen der optimalen Schätzungstheorie (Theorie der bedingten Markovschen Prozesse), die durch Beispiele und durch die einzelnen Methoden vergleichende Simulationsergebnisse weiter erläutert werden. Es stellt somit einen wertvollen Beitrag mit Lehrbuchcharakter zur Überwindung der Diskrepanz zwischen der einerseits weit ausgearbeiteten mathematischen Theorie der bedingten Markovschen Prozesse und ihrer andererseits noch ungenügenden praktischen Wirksamkeit dar. In der deutschsprachigen Literatur existiert dazu kein Äquivalent.

Diesen positiven Gesamteindruck sollen folgende kritische Bemerkungen nicht schmälern: Dem häufig noch unverstandenen Übergang von physikalisch realen Systemen zu den idealisierten Systemen mit weißen Gaußschen Eingangsprozessen und den sich dabei ergebenen mathematischen Konsequenzen hätte durchaus etwas mehr Raum beigemessen werden können, zumal das Ito- und das Stratonovitsch-Integral bzw. -Differential relativ ausführlich erläutert werden. Darüber hinaus fehlt eine Einschätzung der Grenzen der Anwendbarkeit der auf den ersten beiden A-posteriori-Kumulanten basierenden Schätzalgorithmen, die gerade bei der Synthese parameteradaptiver Regelungsalgorithmen deutlich werden. Schließlich engt die Beschränkung auf Markovsche Prozesse $\boldsymbol{x}^T(t)$ den Anwendungsbereich der beschriebenen Verfahren und Methoden ein, so daß beispielsweise Probleme der parameteradaptiven Regelung stochastisch gestörter Systeme bei exakter Beobachtung einiger Zustandskomponenten ausgeschlossen sind. Die Theorie der bedingten Markovschen Prozesse fordert aber nur den Markov-Charakter des Gesamtprozesses $(\boldsymbol{x}^T, \boldsymbol{y}^T)$. Die Erweiterung auf diesen allgemeineren Fall hätte durchaus kurz mit aufgenommen werden können.

B 1588 *N. Ahlbehrendt*

Interface-Technologie für Prozeß- und Mikrorechner. Von *U. Rembold, K. Armbruster* und *W. Ülzmann.* München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1981. 299 Seiten, 265 Bilder, 24 Tafeln.

Mit zunehmender Verflechtung zwischen Meßtechnik, Automatisierungstechnik, Rechentechnik und Datenverarbeitung gewinnen die Anschluß- und Koppelbedingungen zwischen den Geräten dieser Gebiete zunehmend an Bedeutung.

Das Buch widmet sich diesem Problemkreis. Einleitend wird zunächst ein Überblick über die allgemeine Problematik der Prozeßautomatisierung und die Eigenschaften und Aufgaben von Prozeßrechnern gegeben. Diesen schließen sich Ausführungen über die Gewinnung und Wandlung von Prozeßmeßgrößen an. Einen breiteren Raum nehmen Aussagen über verschiedene Verfahren der Datenübertragung und der für die Interfaceschaltung gebräuchlichen Bauelemente ein. Darauf aufbauend werden anhand von Beispielen Möglichkeiten zur elektrisch-logischen Gestaltung der Schnittstellen, insbesondere zwischen Geräten der Prozeßmeß-, -steuer- und Regelungstechnik und dem Prozeß- bzw. Mikrorechner, behandelt, wobei auch auf den unmittelbaren Zusammenhang zwischen Hard- und Software eingegangen wird. Letzteres wird durch Beispiele von programmtechnischen Lösungen noch verdeutlicht. Abschließend werden Probleme beim praktischen Einsatz von Interfaces behandelt und die Eigenschaften einiger Standard-Interfaces, wie PDV-Bus, IEC-Bus und CAMAC, skizziert.

Das Buch liefert einen guten Überblick über den Komplex der Interface-Gestaltung. Die vielen Skizzen machen den Text schnell und gut verständlich.

B 1616 *G. Naumann*

Grundriß der praktischen Regelungstechnik. Band 1: Grundlagen der analogen und digitalen Regelungstechnik. 12. Aufl. Von *E. Samal.* München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1981. 561 Seiten, 334 Bilder, 23 Tafeln.

Das erstmalig im Jahre 1960 erschienene Buch liegt nunmehr als 12., verbesserte und erweiterte Auflage vor. Beibehalten wurde der einführende Charakter, wobei die praktische Seite der Regelungstechnik bestimmend ist und die Erklärung der Regelungsphänomene im Vordergrund steht.

Der äußerst sparsame Gebrauch mathematischer Formalismen lenkt den Leser voll auf das Verstehen der Erscheinungen in Regelungssystemen, das durch formale mathematische Behandlungen leicht verdeckt werden kann. Zugleich eignet sich eine solche Darstellungsweise als Grundlage für Aufbaukurse. Durch Aufnahme eines neuen Teils über „Digitale Regelungstechnik" gewinnt das Buch den Anschluß an die neuartigen Automatisierungsmittel auf Mikroprozessorbasis.

Die Darstellungen lassen hinsichtlich Anschaulichkeit, Verständlichkeit und Praxisnähe keine Wünsche offen. Die zahlreichen Bilder werden als Sprache des Ingenieurs gehandhabt, die Beispiele erschließen eine breite Palette von Anwenderbereichen. Hervorzuheben ist weiterhin das pädagogische Konzept, z. B. erstmalig benutzte Begriffe werden kursiv hervorgehoben, Begriffsübersicht erfolgt nach jedem Abschnitt, Anknüpfung an früher angeführte Beispiele, durchgerechnete Zahlenbeispiele werden eingeblendet u. ä.

Trotzdem bleiben für weitere Auflagen auch noch Wünsche offen, u. a. die konsequente Anwendung der o. g. Darstellungsweisen auch im neuen Teil: Zusammenfassung der Begriffe, einheitliches Stichwortverzeichnis, anschauliche Erklärungen, z. B. durch Impulsdiagramme, Grundfunktionen mit integrierten Schaltkreisen, Symbolik mit neuen Zeichen, insbesondere auch für Speicher und Zähler.

Insgesamt liegt ein sehr geeignetes und modernisiertes Buch für einen breiten Leserkreis vor, der sich erstmalig und intensiv mit Regelungstechnik befassen möchte.

B 1592 *W. Kriesel*

Nachrichtentechnik — Übertragung, Vermittlung, Verarbeitung. 2. Auflage. Von *E. Herter, W. Röcker* und *W. Lörcher*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1981. 412 Seiten, 449 Bilder.

Der Untertitel drückt die berücksichtigten Gebiete besser als das Wort „Nachrichtentechnik" aus. Von der Informationsspeicherung abgesehen, die hier nur extrem kurz mit etwa 10 Seiten erfaßt wird, ist also das gesamte Gebiet der Informationstechnik behandelt. Damit folgt das Buch der Tendenz, daß sich über die Mikroelektronik diese Gebiete immer mehr durchdringen und beeinflussen. Besonders bedeutsam ist, daß hier wohl erstmalig Vermittlung, Leitungen und Wellenausbreitung harmonisch in die Betrachtungen einbezogen wurden.
Vier große Teile bestimmen den Inhalt:

1. Allgemeine Grundlagen, wie Theorie der Netzwerke, der Systeme, der Information und des Nachrichtenverkehrs sowie der Grundlagen der analogen und digitalen Schaltungen.
2. Nachrichtenübertragung mit den o. g. Gebieten sowie Modulation, Kodierung, Verzerrungen und Störungen.
3. Verarbeitung — von den einfachen digitalen Schaltungen bis zum Mikrorechner.
4. Beispiele für die gegenseitige Wechselwirkung und Verflechtung, u. a. integrierte Netze, Fernsprechtechnik und Radartechnik.

Das Buch ist in klarer Diktion und didaktisch gut aufbereitet geschrieben, stellt aber durch die Vielfalt der Gebiete auch zugleich so etwas wie ein Handbuch dar. Ein sehr gutes Literaturverzeichnis gibt die Möglichkeit, tiefer ins Detail einzudringen.

B 1596 *H. Völz*

Grundlagen der Systemtheorie für Nachrichtentechniker. Von *O. Mildenberger*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1981. 132 Seiten, 144 Bilder, viele Beispiele.

Das in der Reihe „Studienbücher der technischen Wissenschaften" erschienene Buch ist nach einer Vorlesung entstanden und ist sowohl als Begleitbuch zu Vorlesungen als auch für das Selbststudium gedacht. Zu diesem Zweck enthält es zu jedem Abschnitt typische Beispiele, die bis zur Lösung behandelt werden.
Nach einer kurzen Einleitung mit der Beschreibung der Aufgaben der Systemtheorie sowie der Signaltheorie werden die Grundlagen der Signal- und Systemtheorie dargeboten, wobei Zeit- und Frequenzdarstellung nacheinander besprochen werden, bevor abschließend vom Duhamel-Integral ausgehend der Zusammenhang zwischen Impulsantwort und Übertragungsfunktion abgeleitet wird. In diesem Abschnitt findet man auch die Probleme der Linearität, Zeitinvarianz, Kausalität sowie der Stabilität bis hin zum Stabilitätskriterium unter Benutzung der Impulsantwort. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich speziell mit der Fourier-Transformation und deren Anwendung und endet mit dem Abtasttheorem, während im dritten Abschnitt diese Transformation zur Analyse idealer Übertragungssysteme benutzt wird. Im vierten Abschnitt werden die Laplace-Transformation und deren Zusammenhang zur Fourier-Transformation eingeführt und Anwendungsbeispiele zur Berechnung von Netzwerkreaktionen vorgeführt. Der abschließende fünfte Abschnitt behandelt zwei diskrete Systeme. Hierzu werden sowohl die z-Transformation als auch Differenzengleichungen verwendet.
Bewußt werden vom Leser nur die notwendigsten mathematischen Vorkenntnisse erwartet. Physikalisch anschaulichen Erklärungen über die Bedeutung der Ableitungen wird der Vorrang gegenüber mathematischer Strenge gegeben. Das Buch wird daher insbesondere beim Studium der Informationstechnik auch wegen der Beispiele aus diesem Gebiet nützlich sein.

B 1590 *E.-G. Woschni*

VLSI — The Coming Revolution in Application and Design. Von *Rex Rice*. Los Alamitos: IEEE Computer Society 1980. 315 Seiten, zahlr. Bilder und Tafeln.

Dieses im Rahmen einer Lehrgangsserie der IEEE Computer Society erschienene Werk war Begleitmaterial eines erstmals im Februar 1980 gehaltenen Kurses über VLSI. Es ist wie die meisten dieser Arbeiten zweigeteilt: Der erste Teil behandelt den Stoff in Übersichten, der zweite druckt einschlägige Originalarbeiten ab.
Nach einer Einführung, einem geschichtlichen Rückblick und einem Ausblick in die Zukunft werden im Kapitel III verschiedene technologische Schlüsselbegriffe erklärt und durch Diagramme Entwicklungstendenzen der bestimmenden Größen veranschaulicht. Potentielle Selbstentwerfer erhalten einen Überblick über Minimalinvestitionen für Rechnerunterstützung (Hard- und Software), Waferfabrikation, Testung usw. Im Folgekapitel „VLSI-Entwurfsmethoden" wird eingegangen auf die Master-Slice- und Standardzellentechnik sowie als voll kundenspezifischen Ansatz auf den Silicon-Compiler vom CalTech-Institut. Eine in der Industrie erfolgreich eingesetzte Methode für CMOS-Schaltkreise wird erläutert. Ökonomische Überlegungen zu Chipfläche und Verbindungskosten werden im Kapitel V angestellt. Es folgen einige Faustregeln, die eine systematische Vorgehensweise erleichtern.
Die Originalarbeiten sind eingeteilt in u. a. folgende Gruppen: Geschichte und Trends, Technologie, rechnergestützter Entwurf, Anwendungen. Sie gewähren Überblick über Teilgebiete oder sind grundlegende Arbeiten. Logischerweise erfährt die Rechnerunterstützung besondere Aufmerksamkeit angesichts des wachsenden Bearbeitungsaufwandes.
Dem Leser bietet dieser Band eine vortreffliche Möglichkeit, sich „vom Was zum Wie" in die Problematik des VLSI-Entwurfes und in die in diesem Jahrzehnt zu bewältigenden Aufgaben und Möglichkeiten einzuarbeiten.

B 1577 *K.-A. Zech*

Technisch-wirtschaftliche Aspekte des Mikroprozessor- und Mikrocomputereinsatzes im Industriebetrieb. Von *K.-J. Schmidt*. Düsseldorf: Verlag Dr. P. Mannhold 1980. 308 Seiten, 62 Bilder.

Der Autor dieser Arbeit interessiert sich für die Möglichkeiten des Einsatzes der Mikroelektronik bei der Lösung betrieblicher Aufgaben. Vorrangig interessieren ihn dabei die durch den Einsatz von Mikroprozessoren und Mikrocomputern im Klein- und Mittelbetrieb möglichen Innovations- und Rationalisierungspotentiale.
Zu ihrer Erkennung werden nach der Behandlung begrifflicher Grundlagen sowie einer systemtheoretischen Beschreibung des Betriebes als offenes, dynamisches und zielorientiertes System die zur Zielerreichung erforderlichen unmittelbaren und mittelbaren Aufgaben herausgelöst und damit das konkrete Anforderungsprofil an die Betriebs-, Produktions- und Prozeßdaten formuliert. Daraus leiten sich Ansatzpunkte zur Beeinflussung durch die Mikrocomputersysteme ab. Dem Anforderungsprofil wird das Leistungsprofil von Mikroprozessor- und Mikrocomputersystemen gegenübergestellt. Die Darlegungen bewegen sich auf einer für den Wirtschaftswissenschaftler durchaus verständlichen Ebene. Hervorzuheben sind detaillierte Tendenzaussagen zu Bausteinen, Baueinheiten und Systemkonfigurationen.
Darauf aufbauend ist der Autor nunmehr in der Lage, an ausgewählten Bereichen der Produktion die Strukturwirkungen beim Einsatz von Mikroprozessor- und Mikrocomputersystemen herauszuarbeiten, wobei er sich auf Fertigung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung beschränkt. Von den Strukturwirkungen werden vorrangig ökonomische und technische dargelegt, soziale Aspekte werden nicht ihrer Bedeutung entsprechend berücksichtigt. Abschließend stellt der Autor Konzeptionen zur Bewertung und Auswahl von derartigen Systemen für den Einsatz im Industriebereich vor, wobei ein auf der Kosten-Nutzen-Analyse aufbauendes adaptives Herangehen vorgeschlagen wird.

B 1604 *J.-A. Müller*

5th International Conference on Control Systems and Computer Science

Vom 8. bis 10. Juni 1983 veranstaltet die Fakultät für Regelungs- und Rechentechnik am Politechnischen Institut Bukarest die o. g. Konferenz zu folgenden Schwerpunkten:

- rechnergesteuerte Prozeßsteuerungen und -regelungen: verteilte Prozeßsteuerungen, Prozeßsteuerungen mit Mehrprozessorsystemen, hierarchische Prozeßsteuerungen, Robotersteuerungen, industrielle Anwendungen
- Rechnerarchitekturen: Rechnernetzwerke, Mehrprozessorsysteme, Systembewertung, Softwaretechnologie.

Vortragsmeldungen mit einer Zusammenfassung (200–300 Wörter) werden vom Organisationskomitee erbeten. Tagungssprachen sind Rumänisch, Russisch, Englisch.
Anschrift des Organisationskomitees: „5th International Conference on Control Systems and Computer Science", Polytechnical Institute of Bucharest, Department of Control and Computers, 313, Spl. Independentei, Bucharest 77206, Romania (Telex 10490, Telefon 313502).

Tagung „Meßtechnik für thermische und hydraulische Größen"

Die Wissenschaftsbereiche Maschinenmeßtechnik und Strömungstechnik der Sektion Dieselmotoren, Pumpen und Verdichter und der Wissenschaftsbereich Thermodynamik der Sektion Apparate- und Anlagenbau der TH „Otto von Guericke" Magdeburg veranstalten vom 1. bis 3. November 1983 in Magdeburg die o. g. Fachtagung mit internationaler Beteiligung.
In 3 Tagungssektionen werden folgende Themenkomplexe behandelt:

- Methoden, Verfahren und Geräte zur meßtechnischen Erfassung von thermischen und hydraulischen Größen, wie Temperatur, Wärmestrom, Druck, Kraft, Durchfluß, Geschwindigkeit, Luftfeuchte u. a.
- Meßwertverarbeitung bei thermischen und hydraulischen Größen, insbesondere unter dem Aspekt des Mikrorechnereinsatzes
- experimentell begründete Bewertungsgrößen thermischer und hydraulischer Prozesse in Maschinen und Anlagen der Stoff- und Energieumwandlung bezüglich Funktionstüchtigkeit, Betriebssicherheit und Verfügbarkeit sowie Energieökonomie.

Um Vortragsangebote (maximal 15 min) zu den Themenkomplexen wird gebeten. Organisatorische Anfragen sind zu richten an: TH „Otto von Guericke" Magdeburg, 3010 Magdeburg, PSF 124, Telefon 592-209, Telex 018–214.

Laser-Prüfgerät für Feinzeiger

Ein international neuartiges digitales Prüf- und Positioniergerät zur Kontrolle von Feinzeigern, die kleinste Längen messen, wurde an der TH Ilmenau konstruiert. Mit Hilfe von Laserstrahlen vergleicht es die Länge des Feinzeigers mit der Wellenlänge des Lichtes und weist etwaige Fehler auf 10^{-9} m genau aus.
Bisher wurde die Prüfung nach einem mechanischem und damit weniger genauem und zeitaufwendigem Verfahren durchgeführt. Das neue Gerät wird z. Z. noch manuell betrieben. Bei automatisiertem Prüfablauf unter Einsatz eines Mikrorechners läßt sich die Prüfzeit wesentlich verringern, und subjektive Fehler können ausgeschlossen werden. Das Gerät wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Anwenderbetrieb entwickelt und gebaut; es ist patentrechtlich geschützt.
(ADN-BWT (19) 1516-6a)

Polierte Stahlkugel mißt Gasdruck

Geringste Gasdrücke werden mit einer Genauigkeit von 10^{-7} mbar von einer kleinen, exakt polierten Stahlkugel registriert, die in einem neuartigen Vakuum-Meßgerät verwendet wird. Das neue Meßprinzip wurde in der Kernforschungsanlage Jühlich/BRD entwickelt. Die Stahlkugel von knapp 0,5 cm Durchmesser ist in dem Instrument mit der Bezeichnung „viscovac VM 210" in einem Vakuum-Meßrohr mit Hilfe von Dauermagneten und Stabilisierungselektromagneten berührungslos „aufgehängt". Mit Hilfe von zwei weiteren Wechselstrom-Elektromagneten wird die Kugel in Drehungen versetzt. Die Drehung dieses Kugelankers induziert eine Gegenspannung. Gasteilchen, die sich im Vakuumrohr befinden, bremsen die Drehung der Kugel ab, um so stärker, je mehr Gasteilchen vorhanden sind. Dadurch verändert sich die induzierte Spannung. Sie wird nach entsprechender Verstärkung als Druck angezeigt.
(ADN-BWT (19) 1502-3c)

Elektronisches Testsystem für bulgarische Polygrafie

Ein eigenes Testsystem mit der Bezeichnung Isot-1004 C, mit dem Texte auf einem Bildschirm redigiert werden können, ist in der VR Bulgarien für die polygrafische Industrie entwickelt worden. Die Bildschirmbearbeitung läßt u. a. die automatische Silbentrennung sowie Kommandos für Buchstabenkegel, Schrift und Zeichenlänge zu. Auf der Tastatur sind alle Buchstaben sowohl in lateinischer als auch in kyrillischer Schrift vorhanden, dazu Zahlen und Zeichen, Spezialzeichen für die Polygrafie sowie ein Steuerblock. Vom fertigen Text wird ein Lochstreifen gewonnen und im Lichtsatz weiterverarbeitet.
(ADN-BWT (19) 1502-5b)

Bulgarischer Schweißroboter

Im Kombinat „Beroe" in Stara Sagora/VR Bulgarien wird der erste bulgarische Schweißroboter RB 251 produziert. Er ist für den Einsatz beim Bau von Land- und Transportmaschinen, Flurförderzeugen und der Produktion von Bau- und Straßenbautechnik vorgesehen.
(ADN-BWT (19) 1506, 6b)

Automatische Belüftungssteuerung

Ein Gerät zur automatischen Belüftungssteuerung ist im Akademieinstitut für Futterproduktion Paulinenaue entwickelt worden. Mit dem Gerät erfolgt das selbsttätige Ein- und Ausschalten der Lüfter einer Lagerhalle bzw. eines Lagerkomplexes für landwirtschaftliche Güter in Abhängigkeit von Feuchte und Temperatur sowohl des Lagergutes als auch der Frischluft.
Zur Vorbeugung gegen eine Selbsterhitzung des Lagergutes wird bei Überschreiten einer einstellbaren mittleren Grenztemperatur an nur einer Meßstelle die Lüftung in Gang gesetzt. Ein weiterer, über der mittleren Grenztemperatur liegender oberer Temperaturgrenzwert dient der Brandüberwachung. Wird dieser Grenzwert an nur einer Meßstelle im Stapel überschritten, schaltet unabhängig von allen anderen Steuerbefehlen die Belüftung ab, und es wird optisch und akustisch Brandgefahr signalisiert. Bei ungünstigen Bedingungen, wie hohem Feuchtegehalt des Lagergutes oder der Frischluft, wird eine Zusatzheizung in die Lüftungssteuerung einbezogen.
(ADN-BWT (19) 1516-7a)

Otto, P.; Sokollik, K.; Wernstedt, J.; Diezemann, M.: IA 5.1.

Innentemperatur—Vorhersagemodell zur Mikrorechnersteuerung von Gewächshäusern

msr **25** (1982) H. 11, S. 602—608

Am Beispiel eines Gewächshauses vom Typ G 300 wird ein Modellkonzept zur Vorhersage der Innentemperatur entwickelt, durch spezielle Schätzverfahren präzisiert und bei einem praktischen Einsatz überprüft. Auf dieser Grundlage können unter Berücksichtigung der relativ großen Trägheiten und Totzeiten der Gewächshausteilsysteme rechtzeitig Steuerentscheidungen für die Heizungssysteme getroffen werden, so daß eine wesentliche Energieeinsparung erzielt wird. Aufgrund der Einfachheit des Modells ist die Möglichkeit gegeben, die Steuerung auf Mikrorechnerbasis zu realisieren.

Lunze, J.: IA 2.3.1.0.

Notwendige Modellkenntnisse zum Entwurf robuster Mehrgrößenregler mit I-Charakter

msr **25** (1982) H. 11, S. 608—612

Aufgrund einer notwendigen Stabilitätsbedingung für das geregelte System werden die für den Entwurf eines störausgleichenden I-Reglers unbedingt notwendigen Informationen über das Verhalten der Regelstrecke bestimmt. Dabei wird gezeigt, daß die Reglermatrix mit Hilfe einer näherungsweisen Darstellung des statischen Verhaltens und einer groben, theoretisch beliebig ungenauen Abschätzung für das Übergangsverhalten der Strecke berechnet werden kann.

Krummsdorf, J.: IA 6.7.

IFAC-Klassifikation zur Erschließung automatisierungstechnischer Literatur für die Forschung — 25 Jahre Praxis

msr **25** (1982) H. 11, S. 613—615

Dargestellt wird die Entwicklung einer speziellen Klassifikation für die automatisierungstechnische Literatur, die mit Unterstützung der UNESCO von der International Federation of Automatic Control aufgestellt wurde. Anfangsstadium und Verbreitung in den 60er Jahren werden beschrieben. Die Bibliothek Technische Kybernetik im ZKI der AdW, deren Bestände (Bücher und Dokumentenkartei) nach diesem System einheitlich gegliedert sind, dient als Muster für 25 Jahre praktische Erfahrung und dürfte international die einzige Fachbibliothek sein, die diese Klassifizierung konsequent anwendet.

Engel, R.: IA 4.0.5.; 4.2.

Frequenzanaloge Systemkomponenten als Bestandteil moderner Automatisierungskonzepte auf Mikrorechnerbasis

msr **25** (1982) H. 11, S. 618—620

Bei modernen Automatisierungskonzepten mit Mikrorechnern und Bussystemen ist die direkte Einbeziehung der prozeßnahen Peripherie im allgemeinen aufgrund des Fehlens geeigneter Meßwandler nicht unmittelbar möglich. Eine günstige Alternative stellt die frequenzanaloge Übertragung der Meß- und Stellsignale dar. Auf mikroelektronischer Basis können für diverse Meßwertgeber Wandler mit standardisiertem frequenzanalogem Ausgang realisiert werden. Auch die Stelltechnik kann durch entsprechende Signalwandler bzw. durch modifizierte Steuerlogik in die frequenzanaloge und damit rechnerkompatible Instrumentierung einbezogen werden.

Hiekmann, S.; Fülle, R.: IA 4.0.5.

Gestaltung eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz

msr **25** (1982) H. 11, S. 621—624

Ausgehend von den Anforderungen, die an ein Rechnersystem zur Beschleunigerautomatisierung gestellt werden, wird die Gestaltung eines Prozeßrechnersystems mit verteilter Intelligenz erläutert. Neben der Rechnersystemlösung werden die Gestaltungsaspekte der Kommunikation zwischen den Systemkomponenten und dem Nutzer sowie der Betriebssoftware behandelt.

Wächter, F.; Gulbins, M.; Franke, G.; Döring, G.: IA 4.5.

Konzipierung von industriellen Steuerungen mit PLA's

msr **25** (1982) H. 11, S. 624—628

Es werden Entwurfsvarianten für die PLA-Realisierung industrieller Steuerungen vorgestellt. Dabei werden spezielle Maßnahmen zur Störsicherheit, Unempfindlichkeit gegenüber prellenden Eingangssignalen sowie zur Auswertung von Fehlersituationen berücksichtigt. Als Anwendungsbeispiel wird die Konzeption eines Standardspeichers vorgeschlagen, mit dem Steuerungsaufgaben transparent in Hardware umsetzbar sind.

Müller, J.-A.: IA 5.6.4.

Simulation des Gießbetriebs in einem SM-Stahlwerk

msr **25** (1980) H. 11, S. 632—636

Zur Ermittlung und Bewertung von Produktionslenkungsstrategien wird ein mathematisches Modell des Gießbetriebs in einem SM-Stahlwerk benötigt. Nach der Formulierung von Modellhypothesen und der Ermittlung wesentlicher Zustandsgrößen wird ein analytisches Grobmodell sowie ein algorithmisches Prozeßmodell erstellt. Das analytische Grobmodell dient der Ermittlung erster Vorstellungen über die zweckmäßige Struktur und Steuerung des Systems. Untersuchungen zur Validierung des algorithmischen Modells zeigen, daß die mit dem algorithmischen Modell erhaltenen Ergebnisse den praktischen Erfahrungen nicht widersprechen. Erste Modellexperimente dienen der Ermittlung der geplanten Chargenmenge sowie der Einführung einer Reservepfanne.

Otto, P.; Sokollik, K.; Wernstedt, J.; Diezemann, M.: ПА 5.1.

Внутренняя температура — модель предсказания для микровычислительного управления теплицами

msr **25** (1982) № 11, стр. 602—608

На примере теплицы типа Г 300 разработан концепт моделирования для предсказания внутренней температуры, уточнен специальными методами оценки и поверен во время практического применения. На данной основе с учетом сравнительно большой инерции и времени запаздывания частичных систем теплиц своевременно могут быть приняты решения по вопросу управления для отопительных систем; таким образом достигается значительная экономия энергии. На основе простоты модели дана возможность реализации управления на основе микровычислительных машин.

Lunze, J.: ПА 2.3.1.0.

Необходимые знания моделей для разработки жестких регуляторов нескольких величин с законом И

msr **25** (1982) № 11, стр. 608—612

На основе необходимого условия устойчивости регулируемой системы определена информация, безусловно необходимая для разработки помехоуравнивающего регулятора И, о поведении объекта регулирования. При этом показано, что возможен расчет матрицы регулятора при помощи приближенного изображения статического поведения, а также грубой, теоретически любой неточной оценки переходного поведения объекта.

Krummsdorf, J.: ПА 6.7.

Классификация ИФАК по раскрытию литературы техники автоматизации для исследования — практика 25-летия

msr **25** (1982) № 11, стр. 613—615

Изображено развитие специальной классификации для литературы в области техники автоматизации, составленной с помощью Организации Объединенных Наций по вопросам просвещения, науки и культуры (ЮНЕСКО) Международной Федерацией автоматического контроля. Рассмотрены этпа начала и распространение в течение 60-тых лет. Библиотека по технической кибетнетике в ЦКИ Академии наук, запасы которой (книги и картотека документов) единообразно подразделены по данной системе, служит примером для 25 лет практического опыта и является в международном масштабе наверно единственной специальной библиотекой, которая консеквентко применяет эту классификацию.

Engel, R.: ПА 4.0.5.; 4.2.

Частотноаналоговые системные компоненты как составная часть современных концептов автоматизации на основе микровычислителей

msr **25** (1982) № 11, стр. 618—620

При современных концептах автоматизации при помощи микровычислителей и магистральных систем непосредственное включение периферии, близкой к процессу, непосредственно невозможно вследствие отсутствия подходящих измерительных преобразователей. Выгодное альтернативное решение представлнет собой частотноаналоговая передача измерительных и позиционных сигналов. На микроэлектронной основе для различных датчиков измеряемых значений могут быть реализованы преобразователи с стандартизованным частотноаналоговым выходом. Также и техника регулировки может быть включена при помощи соответствующих сигнальных преобразователей или путем модифицированной управляющей логики в контрольно-измерительные, частотноаналоговые и тем самым вычислительносовместимые приборы.

Hiekmann, S.; Fülle, R.: ПА 4.0.5.

Оформление вычислительной системы процесса с распределенным интеллектом

msr **25** (1982) № 11, стр. 621—624

Исходя из требований, предъявляемых к вычислительной системе автоматизации ускорителей, пояснено оформление вычислительной системы процесса с распределенным интеллектом. Наряду с решением вычислительной системы рассмотрены аспекты оформления коммуникации между системными компонентами и потребителем, а также операционного матобеспечения.

Wächter, F.; Gulbins, M.; Franke, G.; Döring, G.: ПА 4.5.

Составление промышленных управлений с „ПЛА"

msr **25** (1982) № 11, стр. 624—628

Представлены варианты разработки для реализации ПЛА промышленных управлений. При этом чутены специальные меры по помехозащищенности, нечувствительности по отношению к дрожащим входным сигналам, а также по оценке обстановки погрешностей. Как пример применения предложена концепция стандартного накопителя с задачами управления, которые транспарентно преобразуемы в аппаратурное обеспечение.

Müller, J.-A.: ПА 5.6.4.

Моделирование литейного режима на мартеновском цеху

msr **25** (1980) № 11, стр. 632—636

Для определения и оценки стратегий управления производством необходима математическая модель литейного режима на мартеновском цеху. По формулировке гипотез моделей и определению важных величин состояния разработаны аналитическая грубая модель, а также алгоритмическая модель процесса. Аналитическая грубая модель служит определению первых представлений о целесообразной структуре и управлении системы. Исследования по утверждению алгоритмической модели показывают, что результаты, достигнутые при помощи алгоритмической модели не противоречат практическому опыту. Первые эксперименты модели служат определению запланированного количества цикла, а также введению запасного ковша.

SUMMARIES

Otto, P.; Sokollik, K.; Wernstedt, J.; Diezemann, M.: IA 5.1.

Inside Temperature Prediction Model for Microcomputer Control of Greenhouses

msr 25 (1982) No. 11, pp. 602—608

By means of the example of a G 300 type greenhouse the authors develop a model conception for inside temperature prediction, refine it by special estimation methods and prove it with a practical application. On this base, under consideration of the relatively large inertia and deadtime of the greenhouse partial systems, control decisions for the heating installations may be derived in time so that essential energy savings may be obtained. Due to the simplicity of the model the control may be implemented by means of microcomputers.

Lunze, J.: IA 2.3.1.0.

Necessary Model Knowledge for the Design of Robust Multivariable Feedback Controllers with Integral Action

msr 25 (1982) No. 11, pp. 608—612

By means of a necessary stability condition for the controlled system the author determines the informations on the plant behavior which are absolutely required for the design of an integral action controller compensating disturbances. With this it is shown that the feedback controller matrix may be calculated on the base of an approximate representation of the static behavior and a rough plant transient response estimation theoretically inaccurate as one likes.

Krummsdorf, J.: IA 6.7.

IFAC Classification for Seizing Automation Literature for the Research — 25 Years Practice

msr 25 (1982) No. 11, pp. 613—615

The author represents the development of a special classification for automation literature established by the International Federation of Automatic Control with support of UNESCO. Initial state and use in the sixties are described. The library Technical Cybernetics in the ZKI of the AdW the stock of which (books and document card-register) are uniformly ordered correspondingly to this system serves as specimen for 25 years practical experience and is surely the sole special library consequently applying this classification.

Engel, R.: IA 4.0.5.; 4.2.

Frequency-analog System Components as Ingredient of Modern Microcomputer-based Automation Conceptions

msr 25 (1982) No. 11, pp. 618—620

With modern automation conceptions on the base of microcomputers and bus systems the direct incorporation of the process-related periphery is generally not possible due to the lack of suited measurement transmitters. A favourable alternative is given by the frequency-analog transmission of the measurement and control signals. Transmitters with standardized frequency-analog output may be realized on microelectronic base for certain sensors. The final control devices too may be incorporated into the frequency-analog and, thus, computer-compatible instrumentation by means of corresponding signal transmitters and modified control logic, respectively.

Hiekmann, S.; Fülle, R.: IA 4.0.5.

Configuration of a Process Computer System with Distributed Intelligence

msr 25 (1982) No. 11, pp. 621—624

Starting from the requirements to be met by a computer system for the automation of particle accelerators the authors explain the configuration of a process computer system with distributed intelligence. Besides the computer system solution the configuration aspects as to the communication between the system components and the user as well as the operating system software are dealt with.

Wächter, F.; Gulbins, M.; Franke, G.; Döring, G.: IA 4.5.

Conception of Industrial Controls on the Base of PLA

msr 25 (1982) No. 11, pp. 624—628

The authors present design variants for the PLA-based realization of industrial controls. With this, special provisions for interference safety, insensitivity against chattering input signals and evaluation of error situations are taken into account. As application example the conception of a standard memory allowing a transparent transformation of control problems into hardware is proposed.

Müller, J.-A.: IA 5.6.4.

Simulation of the Casting Operation in a Siemens-Martin-Steel Mill

msr 25 (1982) No. 11, pp. 632—636

For determining and evaluating production guidance strategies in a Siemens-Martin-steel mill a mathematical model of the casting operation is required. After having formulated model hypotheses and determined essential state variables the author establishes an analytical rough model as well as an algorithmic process model, the analytical rough model serving for the determination of first conceptions as to the proper structure and control of the system. Verification studies of the algorithmic model show that the results obtained by it don't contradict to the practical experiences. The first model experiments serve for determining the charge amount to be planned as well as for the introduction of a spare ladle.

RÉSUMÉ

Otto, P.; Sokollik, K.; Wernstedt, J.; Diezemann, M.: IA 5.1.

Un modèle de prédiction de température intérieure pour la commande par micro-ordinateur de serres

msr 25 (1982) No. 11, pp. 602—608

A l'aide de l'exemple d'une serre du type G 300, une conception de modèle pour la prédiction de la température intérieure est développée, précisée par des méthodes d'estimation spéciales et éprouvée dans un emploi pratique. Sur cette base, en tenant compte des inerties et temps morts relativement hauts des systèmes partiels de serre, des décisions de commande pour les systèmes de chauffage peuvent être dérivées à temps de sorte qu'il devient possible d'économiser essentiellement de l'énergie. Grâce à la simplicité du modèle, il est possible de réaliser la commande par micro-ordinateur.

Lunze, J.: IA 2.3.1.0.

Des informations de modèle nécessaires pour le projet de régulateurs multivariables robustes à action intégrante

msr 25 (1982) No. 11, pp. 608—612

Sur la base d'une condition de stabilité nécessaire pour le système réglé, l'auteur détermine les informations sur le comportement de l'objet qui sont décidément nécessaires pour le projet d'un régulateur à action intégrante compensant des perturbations. A cela, il est montré que la matrice de régulateur peut être calculée à l'aide d'une représentation approachée de la réponse statique et d'une grossière estimation du transitoire d'objet théoriquement inexacte à volonté.

Krummsdorf, J.: IA 6.7.

La classification IFAC pour saisir la littérature de l'automation pour la recherche — 25 années de la pratique

msr 25 (1982) No. 11, pp. 613—615

L'auteur représente de développement d'une classification spéciale établie par la Fédération Internationale de la Commande Automatique avec assistance de l'UNESCO pour la littérature de l'automation. L'état initial et l'emploi dans la période de 1960 à 1970 sont décrits. La bibliothèque Cybernétique Technique en ZKI de l'AdW dont l'inventaire (livres et fichier de document) est uniformément arrangé correspondamment à ce système sert de spécimen pour 25 années de l'expérience pratique et est sûrement la seule bibliothèque spéciale employant conséquemment cette classification.

Engel, R.: IA 4.0.5.; 4.2.

Des composantes de système fréquence-analogiques comme ingrédient de conceptions d'automation modernes sur la base de micro-ordinateurs

msr 25 (1982) No. 11, pp. 618—620

Près de conceptions d'automation modernes sur la base de micro-ordinateurs et systèmes de bus, l'incorporation directe de la périphérie située proche de processus n'est pas possible généralement par suite du manque de propres transmetteurs de mesure. Une alternative favorable est donnée par la transmission fréquence-analogique des signaux de mesure et de commande. Des transmetteurs à sortie fréquence-analogique standardisée peuvent être réalisés sur la base microélectronique pour de divers capteurs. Aussi les dispositifs de manoeuvre peuvent être incorporés dans l'instrumentation fréquence-analogique et, ainsi, compatible avec calculateur à l'aide de correspondants transmetteurs de signal et d'une logique modifiée de commande.

Hiekmann, S.; Fülle, R.: IA 4.0.5.

Le façonnement d'un système d'ordinateur de processus à intelligence distribuée

msr 25 (1982) No. 11, pp. 621—624

A partir des exigences à remplir par un système d'ordinateur pour l'automation d'un accélérateur de particules, les auteurs expliquent le façonnement d'un système d'ordinateur de processus à intelligence distribuée. Auprès de la solution pour le système d'ordinateur, les aspects de façonnement de la communication entre les composantes de système et l'usager ainsi que le logiciel de système de service sont traités.

Wächter, F.; Gulbins, M.; Franke, G.; Döring, G.: IA 4.5.

La conception de commandes industrielles sur la base de PLA

msr 25 (1982) No. 11, pp. 624—628

Les auteurs présentent des variantes de projet pour la réalisation par PLA de commandes industrielles. A cela, des mesures spéciales pour la sécurité perturbatrice, l'insensibilité contre signaux d'entrée rebondissants ainsi que pour l'évaluation de situations d'erreur sont considérées. Comme exemple d'emploi, la conception d'une mémoire de standard permettant de transformer transparemment des problèmes de commande en hardware est proposée.

Müller, J.-A.: IA 5.6.4.

La simulation du fonctionnement de coulage dans une aciérie Martin

msr 25 (1982) No. 11, pp. 632—636

Pour déterminer et évaluer des stratégies de guide de production dans une aciérie Martin, il faut disposer d'un modèle mathématique du fonctionnement de coulage. Après ayant formulé des hypothèses de modèle et déterminé des variables d'état essentielles, l'auteur établit un grossier modèle analytique ainsi qu'un modèle algorithmique de processus, le premier modèle servant à déterminer les premières conceptions quant à la structure et la commande du système. Des études de vérification du modèle algorithmique montrent que les résultats obtenus par lui ne contredisent pas les expériences pratiques. Les premières applications de modèle servent à déterminer la quantité de charge à planifier ainsi qu'à introduire une poche de réserve.

Bestellschein

Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen.

Expl.

Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart

Eine Darstellung der Entwicklung des Fluggedankens und der Lufttechnik
G. Wissmann
6., unveränderte Auflage, 558 Seiten, zahlreiche Bilder
Leinen 19,80 M
Bestell-Nr. 5526743 .....

Technologische Planung

Maschinenbau
Autorenkollektiv mit den Herausgebern
G. Müller und *H.-K. Reuter*
3., stark bearbeitete Auflage, 472 Seiten, 219 Bilder, 57 Tafeln
Kunstleder 34,— M
Bestell-Nr. 5526735 .....

Technische Mittel in Konstruktion und Technologie

Reihe Betriebspraxis
Autorenkollektiv unter Leitung von *H. Lange*
1. Auflage, 108 Seiten, 19 Bilder, 31 Tafeln
Broschur 11,— M
Bestell-Nr. 5530304 .....

Superharte Schneidwerkstoffe der Spanungstechnik

Reihe Betriebspraxis
R. Reinhold und *St. Becker*
1. Auflage, 156 Seiten, 53 Bilder, 65 Tafeln
Broschur 12,— M
Bestell-Nr. 5530339 .....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

.....

.....

Name, Vorname

Anschrift mit Postleitzahl

Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
	Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O.Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	Brücken-Verlag GmbH, Ackerstraße 3, 4000 Düsseldorf 1; ESKABE Kommissions-Groossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstraße 2, 8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1982 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst "Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Rej U.:* Metody upravlenija technologičeskimi processami (Methoden zur Steuerung technologischer Prozesse). Mir. 2. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (192).

[2] Sovremennye metody identifikacii sistem (Moderne Methoden zur Identifikation von Systemen. Übers. aus dem Engl.) Mir. 3. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (193).

[3] Verojatnostnye metody i kibernetika. Vyp. 20 (Wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden und Kybernetik. Ausg. 20). Izd-vo Kazan. un-ta. 3. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (196).

[4] Kibernetičeskij sbornik. Vyp. 20 (Kybernetischer Sammelband. Ausg. 20). Mir. 3. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (204).

[5] Priem i obrabotka informacii v složnych informacionnych sistemach. Vyp. 13 (Empfang und Verarbeitung von Informationen in komplizierten Informationssystemen. Ausg. 13). 4. Quart. 1983. Izd-vo Kazan. un-ta. NK-No. 13–82 (207).

[6] Mikrokomp'juternye medicinskie sistemy (Medizinische Mikrorechnersysteme. Übers. aus dem Engl.). Mir. 4. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (214).

[7] *Čincholl, R.:* Muzejnaja katalogizacija i EVM (Museumskatalogisierung und EDVA. Übers. aus dem Engl.). Mir. 3. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (129a)

[8] *Petrosjan L. A.; Tomskij G. V.:* Dinamičeskie igry i ich priloženija (Dynamische Spiele und ihre Anwendungen). Izd-vo Leningr. un-ta. 3. Quart. 1982. NK-No. 13–82 (288).

[9] *Kovalenko P. I.:* Avtomatizacija meliorativnych sistem (Automatisierung von Meliorationssystemen), Kolos. 4. Quart. 1983. NK-No. 14–82 (56).

[10] Upravlenie energosistemami (Steuerung von Energiesystemen). Energoizdat. 2. Quart. 1982. NK-No. 15–82 (56).

[11] *Arnol'd, V. I.:* Teorija katastrof (Katastrophentheorie). Izd-vo Mosk. un-ta. 3. Quart. 1983. NK-No. 16–82 (127).

[12] *Berezin F. A.:* Vvedenie v supermatematiku (Einführung in die Supermathematik). Izd-vo Mosk. un-ta. 3. Quart. 1983. NK-No. 16–82 (128).

[13] *Grebennikov A. I.:* Metod splajnov i rešenie nekorrektnych zadač teorii približdenij (Splain-Methode und Lösung nichtkorrekt gestellter Aufgaben der Approximation). Iz-vo Mosk. un-ta. 2. Quart. 1983. NK-No. 16–82 (129).

[14] *Moroz A. I.:* Vvedenie v teoriju sistem (Einführung in die Systemtheorie). Izd-vo Mosk. un-ta. 3. Quart. 1983. NK-No. 16–82 (130).

[15] Problema analiza biologičeskich sistem (Probleme der Analyse biologischer Systeme). Izd-vo Mosk. un-ta. 4. Quart. 1980. NK-No. 16–82 (156).

[16] Vyčislitel'nye metody i programmirovanie (čislennye metody v mechanike splošnych sred) (Rechentechnische Methoden und Programmierung (numerische Methoden in der Mechanik kompakter Medien)). Izd-vo Mosk.-un-ta. 1. Quart. 1983. NK-No. 16–82 (167).

[17] Vyčislitel'nye metody i programmirovanie. Vyp. 39 (Rechentechnische Methoden und Programmierung. Ausg. 39). Izd-vo Mosk. un-ta. 4. Quart. 1983. NK-No. 16–82 (168).

[18] *Zagladina S. M.; Ivanov Ju. I.:* Statističeskie metody učeta i analiza mikrochozjajstvennych svjazej (Statistische Methoden der Abrechnung und Analyse von mikroökonomischen Beziehungen). Meždunar. otnošenija. 3. Quart. 1983. NK-No. 17–82 (23).

[19] *Bileckij, O. B.; Michajlov, V. S.:* Organizacionno-technologičeskie osnovy ASU v stroitel'stve (Organisatorisch-technologische Grundlagen von ASU im Bauwesen). Budivel'nik (USSR). 1. Quart. 1983. NK-No. 17–82 (92).

[20] *Ermakov, S. M.; Michajlov, G. A.:* Statističeskoe modelirovanie (Statistische Modellierung). Nauka. 3. Quart. 1982. NK-No. 17–82 (295).

[21] *Samarskij, A. A.:* Teorija raznostnych schem (Theorie von Differenzenschemata). Nauka. 4. Quart. 1982. NK-No. 17–82 (299).

[22] *Beljanin, P. N.:* Promyšlennye roboty (Industrieroboter). Mašinostroenie. 1. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (51).

[23] *Kozyrev, Ju. G.:* Promyšlennye roboty. Spravočnik (Industrieroboter. Nachschlagwerk). Mašinostroenie. 1. Quart. 1983. NK-No. 18 bis 82 (52).

[24] *Robototechnika* (Robotertechnik). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (53).

[25] Sovremennye promyšlennye roboty (Moderne Industrieroboter). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (54).

[26] *Artvik, B. A.:* Organizacija mikro-EVM (Organisation von Mikrorechnern. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 2. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (56).

[27] *Baublis, A. B.:* Stochastičeskie modeli v ASU mašinostroitel'nogo predprijatija (Stochastische Modelle in ASU von Maschinenbaubetrieben), Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (57).

[28] Vajradjan, A. S.; *Martynov, V. P.; Petuchov, M. N.:* Avtomatizacija proektirovanija složnych sistem s mnogokratnym rezervirovaniem (Automatisierung der Projektierung von komplizierten Systemen mit mehrfacher Reserve). Mašinostroenie. 3. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (58).

[29] *Poceluev, A. V.:* Statističeskij analiz i sintez složnych dinamičeskich sistem (Statistische Analyse und Synthese komplizierter dynamischer Systeme). Mašinostroenie. 2. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (62).

[30] Sintez diskretnych reguljatorov pri pomošči EVM (Synthese diskreter Regler mit Hilfe der EDVA). Mašinostroenie. 2. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (63).

[31] *Šibanov, G. P.:* Količestvennaja ocenka dejatel'nosti čeloveka v sistemach čelovek-technika (Quantitative Abschätzung der Tätigkeit des Menschen in Mensch-Technik-Systemen). Mašinostroenie. 3. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (64).

[32] *Andrujščenko, V. A.:* Sistemy avtomatičeskogo upravlenija technologičeskim oborudovaniem (Systeme der automatischen Steuerung technologischer Anlagen). Mašinostroenie. 2. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (66).

[33] Dialogovoe proektirovanie technologičeskich processov (Dialogprojektierung technologischer Prozesse). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (67).

[34] *Maksarev, R. Ju.; Gornštejn, M. Ju.:* ASUTP vmašinostroenii: metody obosnovanija (ASUTP im Maschinenbau: Methoden der Begründung). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (68).

[35] *Sikora, E.:* Optimizacija processov obrabotki rezaniem s primeneniem vyčislitel'nych mašin (Optimierung der Prozesse der Schneidverarbeitung mit Hilfe von Rechenmaschinen. Übers. aus dem Poln.). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (91).

[36] *Egorov, V. A.:* Avtomatizacija proektirovanija predprijatij (Automatisierung der Projektierung von Betrieben). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (112).

[37] Imitacionnoe modelirovanie v operativnom upravlenii proizvodstvom (Simulation in der operativen Steuerung der Produktion). Mašinostroenie. 1. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (114).

[38] *Makarov, B. P.:* Nelinejnye zadači statističeskoj dinamiki mašin i priborov (Nichtlineare Aufgaben der statistischen Dynamik von Maschinen und Geräten). Mašinostroenie. 2. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (118).

[39] *Fedotov, V. N.; Bazilevič, L. A.:* Metody upravlenija mašinostroitel'nym predprijatiem (Methoden der Steuerung von Maschinenbaubetrieben), Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (128).

[40] EVM v proektirovanii i proizvodstve (EDVA in der Projektierung und Produktion). Mašinostroenie. 3. Quart. 1983. NK-No. 18–82 (148).

msr 7713

15936 11 159 549 964
APW
4011 7001 1003 SHAT 11

Isotimpex

Elektronisches Taxameter ELTAX 20

Das Taxameter errechnet den Fahrpreis, den gesamten vom Auto zurückgelegten Weg, den mit dem Fahrgast zurückgelegten Weg, die Anzahl der Fahrten (Touren) und die Summe der abgerechneten Fortschaltbeträge. Eltax 20 ist ein auf LSI-MOS-Schaltkreisen aufgebauter Taxi-Mikrocomputer. Der Fahrpreis wird durch ein 7-Segment-Display (Lichtemitterdioden) angezeigt. Die Kontrolldaten werden von elektromechanischen Zählern gespeichert. Eltax 20 arbeitet in 4 Tarifstufen. Grundtaxe, Tarife, Gebühren und Kenngrößen können in Abhängigkeit vom Autotyp leicht und schnell eingestellt werden.

Die Einstellung erfolgt durch Wechsel von Verbindungen im Kodefeld. Mit der Grundtaxe kann eine bestimmte Wegstrecke oder Wartezeit vorausbezahlt werden.
Eltax 20 ist mit dem Auto über einen Fotogeber verbunden. Der Geber hat ein geringes Gewicht und geringe Abmessungen. Er wird zwischen dem Tachometer und der Tachometerantriebswelle eingebaut.

Technische Daten:

- Arbeitsstellungen:
  „Frei", „Tarife" 1—4,
  „Klasse"
- Angezeigte Kenngrößen:
  Fahrpreis, Grundtaxe, Total-Kilometer, Besetzt-Kilometer, Anzahl der Fahrten, Summe der Fortschaltbeträge
- Anzeigen:
  5stellige LED-Anzeige für den Fahrpreis und 1stellige LED-Anzeige für die Tarife
- Abmessungen:
  175 × 165 × 96 mm
- Masse:
  1,6 kg
- Versorgungsspannung:
  9 bis 15 V (Akkumulator des Autos)
- Leistungsaufnahme:
  5 W bei 12 V
- Schutz gegen Funkstörungen

Export:

AHO »ISOTIMPEX«, Tschapaewstr. 51 · Sofia/VR Bulgarien
Ruf: 74-61-51 · FS 022731, 022732